N° d'enregistrement
au C N R S
A.O 12.162

THESE

présentée pour l'obtention

DU TITRE DE DOCTEUR - INGENIEUR

à

L'UNIVERSITE PIERRE ET MARIE CURIE
PARIS 6

par

André LESAVRE
Ingénieur civil des Mines

Le gisement de manganèse d'Imini (Maroc)

Soutenue le 17 décembre 1975
devant la commission d'examen composée de

G. LUCAS	Président
C. POMEROL	Examinateur
H. PELISSONNIER	Examinateurs invités
J. BOULADON	Examinateurs invités

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41548114_0015

N° d'enregistrement
au C N R S
A.O 12.162

THESE

présentée pour l'obtention

DU TITRE DE DOCTEUR - INGENIEUR

à

L'UNIVERSITE PIERRE ET MARIE CURIE
PARIS 6

par

André LESAVRE
Ingénieur civil des Mines

Le gisement de manganèse d'Imini (Maroc)

Soutenue le 17 décembre 1975
devant la commission d'examen composée de

G. LUCAS	Président
C. POMEROL	Examinateur
H. PELISSONNIER	Examinateurs invités
J. BOULADON	Examinateurs invités

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

A V A N T - P R O P O S

Cette thèse a été réalisée au Centre de Géologie Minière de l'Ecole des Mines de Paris.

Je dois une reconnaissance toute particulière à Monsieur le Professeur H. PELISSONNIER qui m'a accueilli au Centre de Géologie Minière, m'a fait profiter de ses connaissances sur le terrain, et dont les nombreuses réflexions sur le gisement de l'Imini m'ont été très utiles.

M. le Professeur G. LUCAS, directeur de cette thèse a beaucoup contribué à son bon déroulement et je l'en remercie vivement. Je sais gré aussi à Monsieur le Professeur C. POMEROL, ainsi qu'à Monsieur J. BOULADON qui ont bien voulu participer à ce jury.

L'étude sur le terrain a été rendue possible par la SACEM, société d'exploitation du gisement de l'Imini. C'est pourquoi je remercie Messieurs REROLLE (Casablanca),KETTANI et TRAMOY (Imini), ainsi que Monsieur M. DURAND (MOKTA-Paris),avec qui j'ai toujours eu d'excellents rapports.

De même, je sais gré à Monsieur G. POUIT pour les remarques faites à l'encontre de ce texte; je remercierai également Monsieur BOUCHTA (BRPM) qui m'a permis de rencontrer les géologues russes travaillant sur le problème du manganèse au Maroc, ainsi que Monsieur LAMTAHRI (Service d'Etude des Gîtes minéraux - Direction des Mines, Rabat) qui m'a reçu à diverses reprises pour évoquer certains problèmes relatifs à la mine d'Imini.

Au cours de mon étude en laboratoire, et durant la rédaction de cette thèse, j'ai reçu l'aide précieuse de certaines personnes que je tiens à remercier vivement : Monsieur BOULADON m'a conseillé pour la métallogénie, ainsi que Monsieur KRAUT pour la pétrographie et Monsieur PICOT (BRGM) pour la minéralogie. Monsieur THIRY s'est intéressé à mes problèmes d'analyse aux rayons X ; Messieurs ELSASS et LAVERSANNE m'ont fait part de nombreuses remarques au point de vue sédimentologie, ainsi que Monsieur BEAUDOIN.

Je veux également remercier Monsieur R. SERMENT pour son aide constante au Centre de Géologie Minière, ainsi que mes camarades J.-P. BLOUIN, H. BRIL et J. GRAPPE qui m'ont toujours encouragé durant ces deux années.

Enfin, je désire terminer en exprimant ma reconnaissance à Monsieur T. DURAND et Monsieur A. BELMEZOUAR, ingénieurs géologues à la SACEM, afin de leur dire ici combien leur contribution spontanée et amicale m'a été précieuse au cours de ce travail. Il en a été de même pour tout le personnel de la SACEM qui a toujours fait l'impossible pour me rendre service, ainsi que le personnel du Centre de Géologie Minière (Paris) et de Minéralogie (Fontainebleau) sans qui ce travail n'aurait pu être mené à bien.

S O M M A I R E

Page

Liste des figures et tableaux dans le texte..... 3

Résumé..... 4

PREMIERE PARTIE

La mine de Manganèse de l'Imini (Maroc)..... 5

Chapitre 1 : Situation générale..... 6

1 - Historique..... 6

2 - Production..... 7

3 - Récapitulatif des travaux géologiques antérieurs..... 9

Chapitre 2 : Géologie régionale..... 10

1 - Présentation de la Carte Géologique..... 11

2 - Tectonique..... 17

Chapitre 3 : Etude du Cénomano-Turonien..... 19

1 - Le Cénomano-Turonien, étage minéralisé : aperçu de la morphologie du gisement..... 20

2 - Introduction à l'étude du Cénomano-Turonien (Pétrographie, paléontologie)..... 21

3 - Etude régionale du Cénomano-Turonien..... 23

Chapitre 4 : Etude de la minéralisation..... 35

1 - Généralités sur les couches de manganèse..... 36

2 - Minéralogie..... 37

3 - Description du gisement : présentation des différents quartiers..... 43

4 - Zonalité du gisement..... 65

Chapitre 5 : Métallogénie..... 67

1 - Importance des phénomènes secondaires dûs à l'action des eaux superficielles dans le gisement de l'Imini.... 68

2 - Conclusion à l'étude de la minéralisation : hypothèses sur la nature du minerai primaire du gisement..... 70

3 - Conclusion à l'étude du Cénomano-Turonien : hypothèses sur le mode de formation du gisement..... 75

DEUXIEME PARTIE

Autres gisements de manganèse liés à la transgression du Cénomano-Turonien..... 78

Chapitre 1 : Aghbalou..... 79

Chapitre 2 : Tasdremt..... 80

CONCLUSION 86

Bibliographie..... 87

Planches Photos..... 91

LISTE DES FIGURES

		Page
1	Carte géologique et minéralisation de l'Imini.....	12
2	Minéralisation, tectonique, limites des formations et coupe schématique paléogéographique à Imini.....	13
3	Bou Agguioun - Localisation des coupes I à R.....	25
4	Coupe NNW - SSE du Cénomano-Turonien.....	26
5	Coupes du Cénomano-Turonien suivant l'axe du gisement de l'Imini.....	29
6	Etude du banc de dolomie gréseuse entre les coupes "K" et "M" de Bou Agguioun.....	31
7	Coupes du Cénomano-Turonien au Sud-Ouest du gisement.....	34
8	Bou Agguioun : localisation des couches 1 et 2, isopaque de l'entre-deux.....	46
9	Coupe schématique du dressant (Timkit).....	49
10	Amas stratiforme de manganèse au sein de la dolomie fossilifère (Timkit - Sec. 12).....	50
11	Argiles discordantes au sein de la série minéralisée (Timkit - Tert.1).....	50
12	Poches karstiques sous la dolomie fossilifère (Assaoud).....	52
13	Relevé des parements de la galerie quaternaire N°15 - Tertiaire n°4 (Tighermit).....	53
14	Passage de la couche 2 à une brèche équivalent latéral (Tighermit - Tertiaire 8).....	55
15	Détail du contact de l'entre-deux dolomitique bréchifié avec la couche 2 (Tighermit - Secondaire 5).....	55
16	Altération de la dolomie fossilifère au toit de la couche 2 (Tighermit T1-TP2).....	55
17	"Passage au fer" de la couche 2 (Boulgir Plateau).....	58
18	"Passage au fer" de la couche 2 (Boulgir Plateau).....	58
19	Carte géologique et minéralisation à l'Ouest de l'Oued Boulgir.....	59
20	Affleurement 5 : localisation des couches 1 et 2.....	61
21	Passage manganèse - fer (affleurement 7).....	63
22	Phénomène de ramification d'une poche minéralisée (Lantenois)	63

LISTE DES TABLEAUX

I	Production de la mine d'Imini pour l'année 1974.....	7
II	Production de la mine d'Imini depuis son ouverture (1938)...	8
III	Rendements de la mine d'Imini pour l'année 1974.....	9
IV	Présentation des différents quartiers de la mine d'Imini....	44
V	Caractéristiques des failles affectant le Cénomano-Turonien sur la corniche de Bou Agguioun.....	47
VI	Classification des occurrences de manganèse situées à l'Ouest du gisement d'Imini.....	60
VII	Résultat de l'altération de différents minerais de manganèse dans des conditions supergènes.....	71

R E S U M E

Cette thèse est une étude des gisements marocains de manganèse liés au Cénomano-Turonien (Crétacé supérieur).

Le plus important d'entre eux est le gisement de l'Imini (8 Mt). Il est situé à 160 km au Sud-Est de Marrakech, dans la zone du sillon préafricain, entre le domaine structural du Haut-Atlas au Nord, et celui de l'Anti-Atlas au Sud. L'étage porteur de la minéralisation est une formation dolomitique du Cénomano-Turonien qui repose par l'intermédiaire de formations argilogréseuses à conglomératiques (Permo-Trias, Infra Cénomanien) ou sans intermédiaire, sur le socle schisteux (Ordovicien) ou volcano-sédimentaire (Précambrien III).

Cette formation carbonatée est d'une très grande régularité : elle correspond à un dépôt formé sur un fond très plat, sous faible profondeur d'eau, à quelques kilomètres seulement du rivage.

Cependant, à l'Est du gisement, la sédimentation montre une irrégularité, à savoir la présence d'une dolomie riche en éléments détritiques au sein de la série carbonatée ; cette dolomie gréseuse serait dûe à un courant côtier, de direction sensiblement parallèle au rivage qui aurait également conditionné le dépôt du manganèse.

La minéralisation ne comporte que des oxydes (pyrolusite, psilomélanes s.l.). Elle montre de nombreux phénomènes de remaniement, d'origine supergène, liés au fait que le Cénomano-Turonien constitue un horizon perméable privilégié entre d'autres terrains imperméables. La pyrolusite est le résultat d'une oxydation tardive liée essentiellement à ces circulations d'eaux karstiques, tandis que la psilomélane pourrait être un minerai primaire.

Les autres gisements étudiés se trouvent à l'Ouest d'Imini.

Aghbalou (5 000 T) est un petit gisement vraisemblablement très comparable à celui d'Imini au point de vue des conditions de dépôt.

Au contraire, Tasdremt (300.000 T) montre une minéralisation manganésifère liée à une sédimentation en bordure de rivage très irrégulière : alternance de dépôts détritiques et dolomitiques, présence de haut-fonds, etc...

L'origine du manganèse de ces différents gisements reste à discuter. Au vu des liaisons du gisement d'Imini avec un apport d'éléments détritiques, l'hypothèse le plus probable est celle d'un manganèse obtenu par lessivage du socle rhyolithique voisin, avec la possibilité supplémentaire de reprise de gisements préexistants encaissés dans le socle précambrien.

P A R T I E I

LE GISEMENT DE MANGANESE D'IMINI (MAROC)

	Page
I - Situation générale de la mine d'Imini	6
II - Géologie régionale	10
III- Etude du Cénomano-Turonien	19
IV - Etude de la minéralisation	35
V - Métallogénie	67

I - SITUATION GENERALE

1) HISTORIQUE

2) PRODUCTION

3) Travaux géol. antérieurs.

I - SITUATION GENERALE

Les mines de manganèse de l'Imini, qui produisent actuellement la totalité du manganèse marocain, sont situées dans le Sud du Maroc (province de Ouarzazate), à 150 kms environ au Sud-Est de Marrakech.

Elles sont exploitées par la Société Anonyme Chérifienne d'Etudes Minières (SACEM).

1) HISTORIQUE

Pendant la guerre de 1914-18, l'application du Règlement minier au Maroc fut suspendue, mais de nombreuses déclarations de découverte furent adressées à la direction des mines, qui n'ouvraient, d'ailleurs, aucun droit. La déclaration la plus intéressante est celle du gisement de l'Imini, faite le 31 Janvier 1918, par F. Busset. Une deuxième déclaration fut faite le 14 Juin 1922 par De Jarente. L'affleurement d'une couche de manganèse triple, en dressant, avait attiré leur attention. Cet affleurement fut visité, à nouveau, le 4 Décembre 1924, par Ch. Duny, Ingénieur de la Compagnie de Mokta.

La région de l'Imini ne devait être ouverte à la prospection que le 3 Septembre 1929. Il avait été, auparavant, décidé que le gisement de l'Imini serait exploité par une société chérifienne en vue de développer une collaboration confiante et une solidarité progressive entre les intérêts publics et les intérêts privés du Maroc.

La Compagnie de Mokta, fondée en 1865, explorait depuis 1901, les montagnes marocaines, dans le but de découvrir des gisements de fer et de manganèse. En 1929, elle constitua un groupement qui comprenait, notamment, outre cette Société, des métallurgistes français et des consommateurs de manganèse. Ce groupement espérait l'ouverture prochaine de la zone de l'Imini à la prospection, et, soucieux d'agir au mieux de l'intérêt général, avait accepté de former une société d'études chérifienne qui demanderait, dès l'ouverture de la zone, des permis de prospection couvrant les affleurements de manganèse, et qui offrirait, en même temps, au Bureau de Recherches et de Participations Minières de prendre une participation effective à la prospection de la région couverte, participation qui devait faire l'objet, entre le bureau et les associés, de conventions librement débattues.

En fait, la société chérifienne (SACEM) fut fondée le 23 Septembre 1929 ; les permis furent obtenus du gouvernement chérifien le 30 Novembre 1929 et le B.R.P.M., à la suite d'une assemblée générale extraordinaire entrait dans la

SACEM le 24 Avril 1930, avec participation de 1/3 du capital social ; à cette époque, les travaux de recherches commençaient et entraient dans une phase active.

Ceux-ci ont été conduits d'une façon ininterrompue, depuis 1929 jusqu'à une première tentative de mise en exploitation, en 1939, tentative arrêtée par la guerre en 1940. Ils ont repris en 1946 et se poursuivent encore en même temps que l'exploitation.

Actuellement, le B.R.P.M. et la Société Mokta, qui ont la même participation dans la SACEM, continuent à assurer la bonne marche de l'exploitation.

2) PRODUCTION

Le Tableau I donne la production de l'année 1974, par qualités (de 72 à 92% MnO_2).

Le Tableau II donne la production annuelle de manganèse de la mine depuis son ouverture en tonnes de minerai marchand (sous forme de MnO_2 de teneur au minimum égale à 72%), ainsi que certaines données concernant l'évolution du marché.

Qualité du minerai			Production en T
% MnO_2	% SiO_2	% Fe	
92	2,7	0,14	2.231
88	3	0,14	12.074
84	5,7	0,24	54.423
80	7,2	0,3	49.395
74	9,9	0,31	49.816
72	11,7	0,51	

Tableau I : Production de la mine d'Imini pour l'année 1974 (d'après A. KETTANI - 1975)

Comme de nombreuses mines, celle d'Imini montre une production directement affectée par les variations de ce marché. Durant les dix dernières années, face à la baisse des cours du minerai métallurgique, Imini a entrepris une reconversion afin de commercialiser des produits à teneur élevée en MnO_2, et occupe actuellement une part importante sur le marché de manganèse non métallurgique (qui représente environ 3% du marché mondial, soit 400 à 500.000 T.).

Considérations générales sur le marché du manganèse métallurgique (d'après M. LAVERIE, 1969)	Année	Production de la mine d'Imini en tonnes de minerai marchand	Historique de la production de la mine d'Imini
Seconde guerre mondiale (1939-1945) affectant la bonne marche des entreprises minières d'Afrique du Nord	1938	16.785	
	1939	4.390	
	1940	19.610	
	1941	3.840	
	1942	3.609	
	1943	3.800	
	1944	1.870	
	1945	6.360	
Marché ferme du manganèse avec un rythme d'accroissement de la demande suivant celui de l'acier (5% par an)	1946	13.600	Véritable mise en route de l'exploitation et augmentation rapide de la production
	1947	36.270	
	1948	102.802	
	1949	118.429	
	1950	174.870	
	1951	212.780	
Constitution du stockpile américain (ayant dépassé 10 Mt).	1952	276.839	Période faste du minerai métallurgique
	1953	283.413	
	1954	293.436	
	1955	314.993	
	1956	310.270	
	1957	339.468	
Bond en avant de la production correspondant à l'apparition sur le marché du manganèse du Gabon, Afrique du Sud, Brésil, Côte d'Ivoire = baisse des cours de 1/3.	1958	255.791	
	1959	309.737	
	1960	311.668	
	1961	384.917	
	1962	314.721	
	1963	199.255	Traitement d'une partie importante du minerai métallurgique par synthérisation.
	1964	226.835	
Retour à l'équilibre en 1964 suivi d'une nouvelle chute des cours en 1966 (augmentation trop rapide de la production, revente d'une partie du stock américain).	1965	240.951	
	1966	284.353	
Actuellement le marché est resté très instable.	1967	256.721	Reconversion rapide au profit du minerai non métallurgique. La prod. de minerai métallurgique décroit en 3 ans de 139.665 t (1967) à 76.406 (1968) et 8.511t en 1969.
	1968	194.209	
	1969	130.640	
	1970	122.584	
	1971	109.198	
	1972	104.200	
	1973	135.146	
	1974	192.200	
Le minerai métallurgique (40-50% Mn) représente 95% du marché du manganèse.	Remarques	La production actuelle totale est 5.679.189 t Elle atteindra vraisemblablement environ 7 Mt	

Tableau II : Production de la mine d'Imini depuis son ouverture (1938)

Quartiers	Production (en T)	% du Total	Rendement T minerai prod. homme-poste	Effectif moyen journalier *
Tighermit	114.322	59,5	3,176	133
Timkit	59.325	30,9	2,170	101
Bou Agguioun	9.246	4,8		
Extrême-Ouest	9.307	4,8		

* l'effectif jour étant de 168 personnes, l'effectif total est de 402 personnes.

Tableau III : Rendements de la mine d'Imini pour l'année 1974
d'après A. KETTANI (1975)

3) RECAPITULATIF DES TRAVAUX GEOLOGIQUES ANTERIEURS

En raison de son importance du point de vue économique, le gisement d'Imini a fait l'objet de nombreuses études géologiques depuis sa découverte. Celles-ci cherchaient à expliquer la formation d'un gisement remarquable par sa richesse (cf. I-2) et par sa morphologie.

En effet, le gisement, constitué principalement (*) de deux couches d'oxydes de manganèse localisées à la base d'une formation dolomitique du Crétacé supérieur déposée en bordure de rivage, présente une forme très particulière :

La minéralisation a l'allure d'une longue bande rectiligne de direction ENE, qui a près de 20 Km de long de Boulgir jusqu'à Bou Agguioun (cf. Fig. 1 et 2), dont la continuité n'est interrompue que par les entailles de l'érosion (Oued Imini, Timkit et Boulgir). Au contraire, perpendiculairement à cet axe privilégié, la minéralisation a une extension réduite, puisqu'elle ne dépasse guère 400m en direction Nord-Sud.

Les couches de manganèse étant interstratifiées dans la série dolomitique à des niveaux constants, l'origine syngénétique de la minéralisation n'a jamais été vraiment mise en doute. Dès 1933, L. NELTNER concluait dans ce sens, en expliquant la disposition rectiligne du gisement comme une ligne de rivage ou une lagune côtière. Les phénomènes d'épigénie observés dans la dolomie étaient expliqués par la diagenèse, et quant à l'origine du manganèse, L NELTNER évoquait la possibilité

* Il existe également une troisième couche, de localisation beaucoup plus irrégulière, au sommet de la série dolomitique.

d'altération des laves et des filons manganésifères du socle. Ces hypothèses, reprises ultérieurement par J. ORCEL (1942), infirmaient donc les anciennes études de L. MORET (1930), F. BLONDEL et J. BONDON (1936) qui avaient envisagé une concentration latéritique sur des rides émergées pour expliquer la formation du gisement.

Plus récemment, en conclusion d'une étude géologique sur toute la région de l'Imini ainsi que sur le gisement lui-même, G. POUIT et G. JOURAVSKY reprenaient l'hypothèse d'un gisement syngénétique en précisant les relations de la minéralisation avec son cadre géologique. Ces auteurs mettaient l'accent sur le fait que "le manganèse est associé, dans un milieu carbonaté réducteur, à des faciès rougeâtres et détritiques qui, par leur répartition, indiquent d'une façon très vraisemblable l'influence d'apport sous l effet de courants", "la direction de l axe privilégié étant approximativement parallèle, pour autant qu'on puisse la supposer à la limite de la transgression cénomanienne". (G. POUIT 1964). Quant au problème de l'origine du manganèse, au vu d'observations extérieures au gisement, ils en proposaient une origine hydrothermale ; ils montraient en effet l'existence de nombreux filons de manganèse et de barytine post-triasiqu et parfois post-cénomaniens, à l'Ouest du gîte de l'Imini, (G. POUIT et G. JOURAVSKY, 1960), et signalaient en outre la présence de coulées de basalte dans le crétacé, à l'Est d'Imini, dans l'Atlas de Beni-Mellal.

Ces dernières années, sous l'instigation de H. PELISSONNIER, ont été menées de nouvelles recherches sur le gisement afin d'en avoir une vue plus détaillée et plus complète, avant que la réduction progressive du nombre de chantiers d'exploitation ne rende toute étude gédogique impossible. D'une part, elles ont cherché à améliorer la connaissance des liaisons entre le manganèse et les faciès détritiques évoqués par G. POUIT. D'autre part, elles ont montré l'importance des phénomènes d'altération supergène (B. BEAUDOIN, A. LESAVRE, H. PELISSONNIER, 1975) qui étaient considérés, jusqu'alors, comme accessoires (*). Elles concluent, en effet, que ces altérations, ont modifié profondément la minéralogie du gisement, tout en respectant la morphologie initiale du gîte primaire.

* Sauf pour J. DUBOIS (1934), pour qui le manganèse, d'origine superficielle, se déposait, consécutivement à la possibilité de circulation d'eaux d'infiltration dans les niveaux gréseux, au contact des dolomies, et H. VINCIENNE (1956) qui envisageait la possibilité de "phénomènes postérieurs de remaniement" sur l'ensemble du gisement.

INTRODUCTION A L'ETUDE DU GISEMENT (Chapitres 2 à 5)

Après une présentation de la géologie régionale (chapitre 2), cette thèse donnera les résultats de l'étude du Cénomano-Turonien qui est l'étage minéralisé (chapitre 3), puis on y trouvera une étude descriptive de la minéralisation elle-même (chapitre 4).

Ensuite, dans l'étude métallogénique du gisement (chapitre 5), on tirera d'une part les conclusions du chapitre 3, en replaçant le gîte dans son contexte géologique (chapitre 5-3), et d'autre part les conclusions du chapitre 4 en mettant l'accent sur l'importance des phénomènes d'altération supergène dans le gisement d'Imini (chapitre 5-1) et sur leurs conséquences au point de vue de la minéralisation (chapitre 5-2).

II - GEOLOGIE REGIONALE

1) PRESENTATION DE LA CARTE GEOLOGIQUE

A - Le Socle

B - Le Trias

- B1 - Le Trias au Maroc
- B2 - Le Trias dans la région d'Imini

C - Le Jurassique

D - Le Cénomano-Turonien

- D1 - Le Cénomano-Turonien au Maroc
- D2 - Le Cénomano-Turonien dans la région d'Imini

E - Le Sénonien

- E1 - Le Sénonien au Maroc
- E2 - le Sénonien dans la région d'Imini

F - Les Terrains Tertiaires

- F1 - Eocène
- F2 - Miocène, Pliocène

2) TECTONIQUE

A - Description

B - Interprétation

II - GEOLOGIE REGIONALE

1) PRESENTATION DE LA CARTE GEOLOGIQUE

Une carte géologique de la région d'Imini (au 1/28.000 environ) a été réalisée en 1960 par G. Pouit (fig. 1) . Elle était la conclusion d'une étude réalisée en collaboration avec G. Jouravsky, qui avait pour but de "replacer le gîte de manganèse de l'Imini dans son contexte géologique, tant des points de vue stratigraphique que tectonique, ceux-ci ayant pour but essentiel de faire apparaître les traits paléogéographiques principaux".

Nous ferons largement appel aux données générales de cette étude en étudiant la stratigraphie période par période et en y ajoutant des données sur leur paléogéographie au Maroc, d'après les nombreuses études faites par G. Choubert et A. Faure-Muret.

Introduction

Imini se trouve dans la zone du sillon préafricain, étroite bande qui sépare le domaine structural du Haut-Atlas au Nord, du domaine de l'Anti-Atlas au Sud.Ce sillon est caractérisé par des dépôts secondaires à tertiaires, souvent continentaux, parfois marins, restés subhorizontaux et reposant en discordance sur un socle précambrien à l'Ouest, paléozoïque à l'Est.

D'une manière plus précise, le gisement d'Imini est installé sur le rebord sud du sillon, dans une zone qui apparaît à différentes époques du Secondaire comme limite de transgression en provenance du Nord (fig.2). L'étage porteur de la minéralisation est une formation dolomitique du Cénomano-Turonien qui repose par l'intermédiaire de formations argilogréseuses à conglomératiques (Permo-Trias, Infracénomanien), ou sans intermédiaire, sur le socle schisteux (Ordovicien) ou volcano-sédimentaire (Précambrien III). Elle s'épaissit très lentement et très régulièrement vers le Nord, passant de 10-12 m au niveau de l'axe du gisement à 20-25 m, 8km plus au Nord.

A - Le Socle

Le Socle affleure sur de vastes étendues à l'Ouest de l'Oued Tidili; il est essentiellement constitué de formations volcaniques (rhyolithes, andésites) et de granites à pyroxène et amphibole rattachés au Précambrien III. On trouve aussi localement au Nord (Oued Boulgir) un affleurement rattaché au Précambrien III supérieur, volcano-détritique, très peu tectonisé au contraire des formations précédentes. Ce sont ces mêmes formations qui contiennent le gîte stratiforme de manganèse de Tiouine, situé à une quinzaine de kilomètres, au Sud d'Imini.

A l'Est, l'érosion a mis à jour une boutonnière de schistes ordoviciens qui présentent un faciès anti-atlasique (J. Destombes).

La limite approximative entre ces formations n'est pas visible et ne peut être établie précisément : elle serait, au vu d'anciens sondages, sensiblement Nord-Sud au niveau de Tighermit (fig.2).

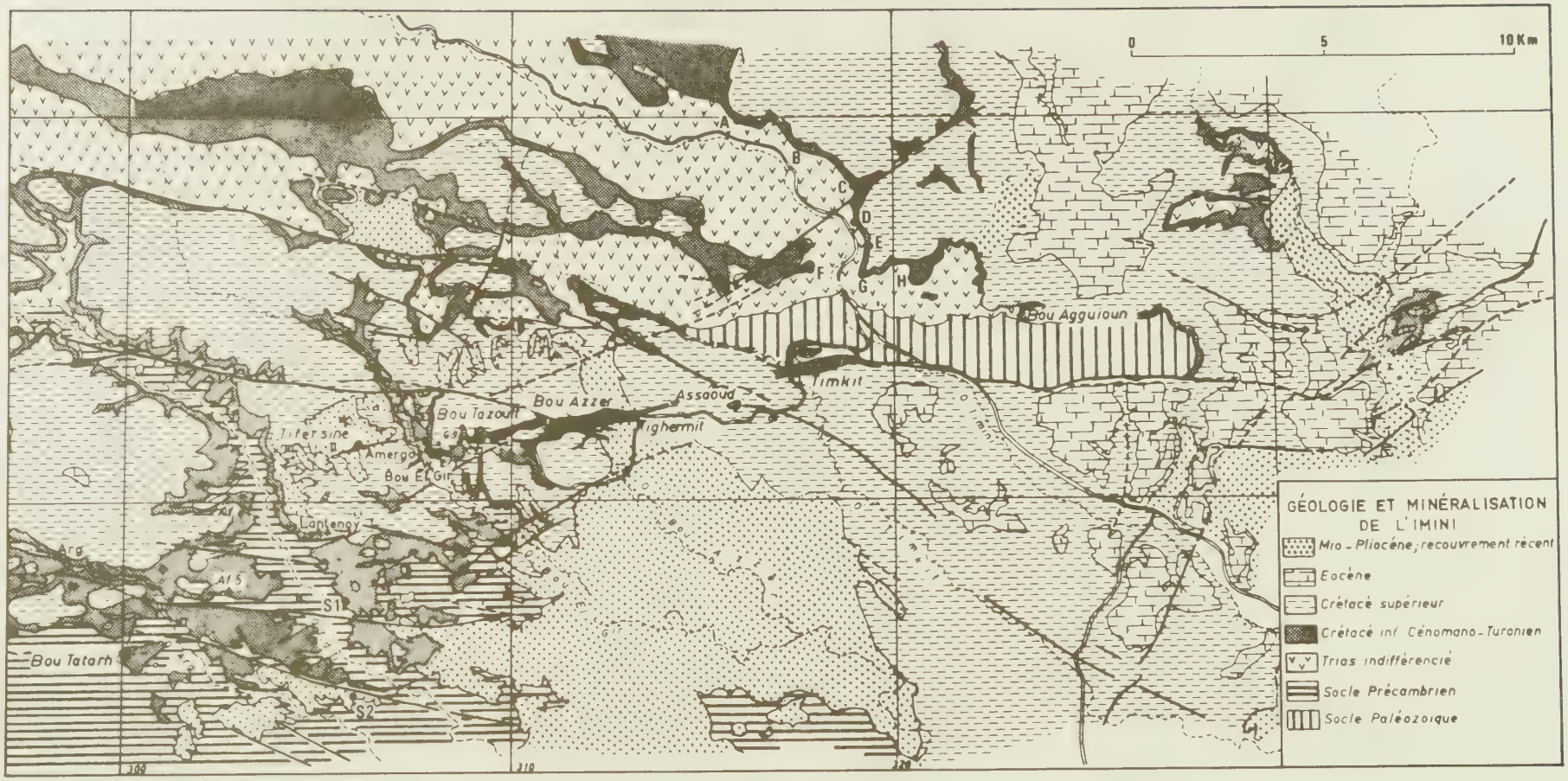
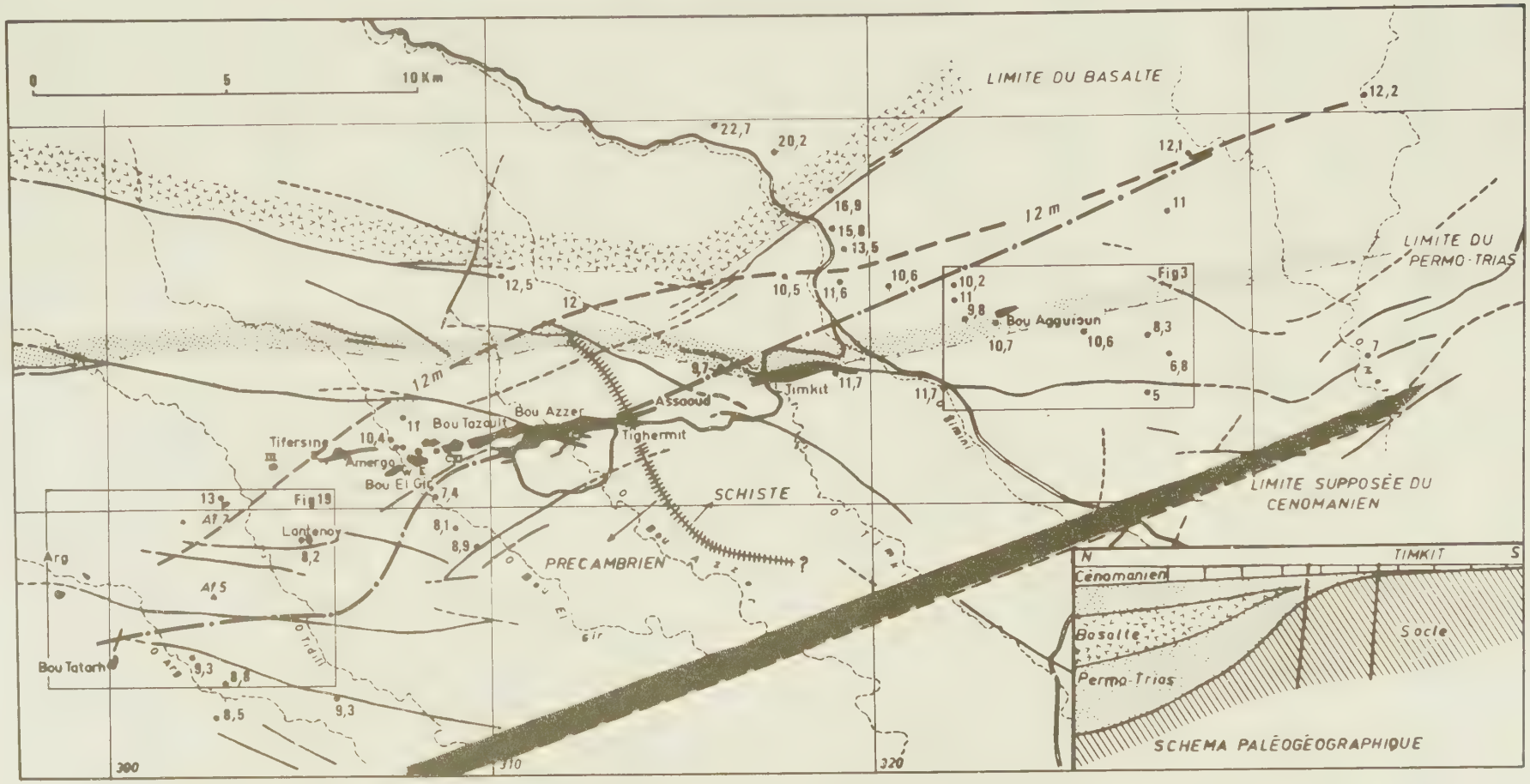


Fig - 1 - Carte géologique et minéralisation de l'Imini (d'après G. POUIT, 1964)

Localisation des coupes A à H (cf fig 4), S1 et S2 (cf fig 7)

Fig-2- Minéralisation, tectonique, limites des formations et coupe schématique paléogéographique à Imini

(d'après G. POUIT, 1964)



• 11,6 Puissance du Cénomano-Turonien

— — — Isopaque 12 m du Cénomano-Turonien

——·—— Mur du Cénomano-Turonien : Limite marnes au nord; conglomérat gréseux au sud

(d'après A. LESAVRÉ)

B - Le Trias

B1 - Le Trias au Maroc

"Lithologiquement, on peut distinguer deux termes successifs assez différents qui se retrouvent dans la plupart des bassins d'accumulation :

- D'abord une série de grès rouges, débutant par des conglomérats et comportant des niveaux de pélites.

- Puis un ensemble d'argiles rouges, souvent salifères, qui admettent vers leur milieu des coulées de basaltes. Quelques grès accompagnent parfois ces argiles, mais ils ne jouent qu'un rôle très réduit...

L'histoire du domaine atlasique au cours du Trias peut être divisée en deux périodes.

Pendant la première, se forme un certain nombre de bassins subsidents qui se remplissent essentiellement de matériel détritique rouge provenant de la destruction des derniers reliefs de la chaîne hercynienne.

Au cours de la deuxième période, survenue après une légère phase tectonique, l'aplanissement devient quasi parfait dans la majeure partie du Domaine atlasique. La sédimentation devient argileuse, débordant largement les aires de sédimentation précédentes... Le régime lagunaire se généralise... Au cours de cette période, des épanchements basaltiques ont lieu et prennent des proportions considérables."

(G. Choubert et A.Faure Muret, 1962)

B2 - Le Trias dans la région d'Imini

Il est argilo-gréseux à conglomératique de couleur rouge à violacé, avec d'importantes coulées de basalte intercalées. Ce sont elles qui contiennent des géodes à remplissage siliceux, à l'origine des quartz, agathes et améthystes qui sont commercialisés au bord des routes.

Son extension n'est pas connue avec certitude, car il ne se distingue pas aisément de l'infra-Cénomanien gréseux (cf. D2). Il apparaît cependant qu'il s'est déposé suivant une transgression du Nord vers le Sud ; sa limite est presque confondue avec l'axe de la minéralisation à l'Est, entre Bou Agguioun et Ste Barbe. Elle se situe au Nord de cet axe, à l'Ouest de la région de l'Imini.

L'augmentation rapide de sa puissance vers le Nord montre qu'il existe un caractère paléogéographique très important, mis en évidence par Messieurs Jouravsky et Pouit, à savoir l'existence d'une zone à forte subsidence, au Nord de l'Imini (cf. fig.2).

C - Le Jurassique

Situé au Nord de la région de l'Imini, il se présente comme des dolomies et cargneules conglomératiques, s'individualisant bien sous forme d'un banc d'aspect déchiqueté entre les formations argilo-gréseuses du Trias et de l'infra-Cénomanien.

D'après la paléogéographie du Jurassique (G. Choubert et A. Faure-Muret, 1962), ce dépôt ferait partie de la frange des faciès réduits, calcaires ou dolomitiques, datée du Lias inférieur et moyen (Sinémurien supérieur généralement sans Domérien).

Le Jurassique, comme le Trias, a été affecté par l'existence de la zone de subsidence au Nord.

D - Le Cénomano-Turonien

D1 - Le Cénomano-Turonien au Maroc

C'est au Crétacé, et plus précisément au Cénomano-Turonien que la mer déborde jusque sur les marges du Domaine de l'Anti-Atlas.

"La voie principale de pénétration de cette mer passait au Nord de l'Atlas : plateau des Phosphates, région de Midelt, Meseta orientale. Plus au Sud, la mer a envahi le bassin des Haha d'où elle a pénétré vers l'Est en cheminant de part et d'autre du Haut Atlas qui a dû toujours former une île ou un chapelet d'îles... C'est quelque part dans l'Atlas, à l'Est du Tizi n'Tichka que la mer, du vaste détroit nord, a pu rejoindre celle qui avançait par le "Col du Souss", entre l'Atlas et le Sirwa...

Le cycle sédimentaire cénomano-turonien comprend trois termes très constants dans tout le Maroc :

- Grès rouges "infracénomaniens" à la base,
- Argiles rouges ou versicolores à gypse au milieu,
- Calcaire corniche cénomano-turonien au sommet.

Cette "trilogie mésocrétacée" ressemble à un cycle sédimentaire théorique débutant par un terme détritique continental, suivi d'un terme lagunaire pour se terminer par un terme franchement marin.

Les termes successifs des trois séries du Crétacé moyen peuvent atteindre des épaisseurs relativement importantes dans les zones subsidentes : jusqu'à 300 m pour les grès rouges, 200-250 m pour les marnes à gypse, 150 m pour les calcaires. Ces puissances diminuent rapidement de puissance vers les bords des bassins. Elles sont faibles dans les golfes et détroits. On peut parler alors de faciès réduits côtiers ou subcôtiers."

(G. Choubert et A. Faure-Muret, 1970)

D2 - Le Cénomano-Turonien dans la région d'Imini

C'est un faciès du type évoqué précédemment -faciès côtier ou subcôtier- que l'on rencontre à Imini. Il se présente comme une corniche dolomitique d'une dizaine de mètres surmontant une série gréseuse de base, rattachée à l'infra-Cénomanien qui est d'une puissance équivalente. La transgression a comme précédemment un sens Nord-Sud.

E - Le Senonien

E1 - Le Sénonien au Maroc

"Le cycle sédimentaire cénomano-turonien se termine par un léger mouvement tectonique provoquant une régression importante... D'une façon générale, surtout dans le Sud, la mer sénonienne est toujours nettement en retrait par rapport à la mer turonienne. Par contre, les formations lagunaires et subcontinentales du Sénonien peuvent dépasser localement les limites des affleurements cénomano-turoniens (par exemple au Sud d'Imini)."

(G. Choubert et A. Faure-Muret, 1970)

E2 - Le Sénonien dans la région d'Imini

Il se rattache à la pénétration de la transgression sénonienne dans le Golfe du Souss - Ouarzazate.

"Dans le Souss, le Sénonien n'est entièrement marin que dans sa partie nord-occidentale. Des niveaux continentaux et lagunaires apparaissent dès Erguita et deviennent importants dans la partie Est de la plaine."

(G. Choubert et A. Faure-Muret, 1970)

A Imini, il est représenté par quelques bancs de calcaire et de gypse intercalés dans une formation rythmique argilo-gréseuse, l'ensemble étant puissant d'environ 150m. Ces dépôts témoignent d'un dépôt lagunaire à continental.

" La Stratigraphie, comme la paléogéographie, reste délicate en raison du manque de continuité des bancs repères et de l'irrégularité de son épaisseur. Dans certains cas, on peut distinguer deux dalles calcaires qui séparent ce niveau en trois tranches d'égale épaisseur."

(G. Jouravsky et G. Pouit, 1960)

La transgression sénonienne s'étend une dizaine de kilomètres au Sud de la transgression cénomanienne, presque jusqu'à Tiouine.

F - Terrains tertiaires

F1 - Eocène

La paléogéographie de l'Eocène pose certains problèmes : il est difficile de relier les différents golfes existants avec l'Océan.

"Dans la région d'Ouarzazate, la transgression éocène n'a certainement pas traversé le col du Souss. On est donc forcé de penser à une communication avec le Nord à travers le Haut-Atlas, à l'Est de son massif ancien (par le Tizi n' Telouet). Ceci est d'autant plus vraisemblable que les faciès des différents niveaux de l'Eocène des Khelas (Imini) ressemblent à ceux des synclinaux de l'Oued Zat (Ounila), (J. Villemur, 1950), mais sont très différents de ceux du Souss."

(G. Choubert et A. Faure-Muret, 1970)

L'Eocène, dans la région d'Imini, est représenté à l'Est par de nombreuses garas (plateaux), à l'Ouest par deux garas isolées. (Takoucht N'Oufella et Takouchim). Il est constitué de formations gréso-marneuses surmontées de bancs massifs de calcaire, formant souvent la corniche de ces garas.

F2 - Mio Pliocène

Il est constitué de calcaires lacustres et de conglomérats qui masquent les formations précédentes. Il est localisé essentiellement au Sud, mais il existe aussi des affleurements plus au Nord au niveau du gisement (Bou Azzer, Tifersine). Certains sont particulièrement caractéristiques par les ravinements qu'ils montrent : calcaire lacustre à l'Ouest de Tazoult N'Oumredoua.

2) TECTONIQUE

A - Description

Dans la région d'Imini, la direction privilégiée de fracturation ou de flexure est WNW - ESE (failles de Bou Azzer et d'Assaoud). Les failles sont le plus souvent directes et à pendage subvertical.

L'autre direction importante est WSW-ENE ; elle est visible sur de nombreuses failles dans l'oued Boulgir, et c'est la direction de la faille de Bou Tazoult.

A l'extrême-Ouest de Bou Tazoult, on rencontre une troisième direction approximativement Nord-Sud.

Les accidents sont parfois minéralisés : des filons de barytine existent à l'Est, dans les schistes ordoviciens, près du dressant (elles donnent lieu à de petites exploitations). On trouve aussi des filons d'hématite, ainsi que des filons de manganèse (braunite, psilomèlane) dans l'Oued Boulgir : ils ont été l'objet de petits grattages sans importance en raison du faible tonnage et de la faible teneur du minerai.

B - Interprétation

Comme cité en introduction, le bassin de l'Imini se trouve dans le prolongement de l'accident Sud Atlasique. La direction tectonique principale en relation avec les mouvements atlasiens est WSW - ENE. Si ce n'est pas la direction privilégiée des fractures dans la région d'Imini, c'est précisément parce qu'à son niveau, l'accident sud-atlasique "s'interrompt pour donner une série de flexures WNW-ESE et ne reprend avec toute son intensité et sa direction qu'à une vingtaine de kilomètres au NW d'Imini."

La paléotectonique reste un problème, du fait que l'on ne peut avoir de données précises que sur la dernière phase orogénique. Plusieurs hypothèses avaient été émises.

- La tectonique atlasienne se moule sur des tectoniques plus anciennes, en ayant une faible intensité :

  En règle générale, le socle, rigide, n'a été que gauchi (pente moyenne de 4% de Bou Tazoult à Assaoud), et ne montre que des flexures ou des failles de faible amplitude. Certaines failles affectant à la fois le socle - avec une intensité très forte - et la couverture - avec une intensité faible, traduisent le fait qu'elles ont rejoué : c'est par exemple le cas de celle qui joint Tazoult N'Oumredoua à la galerie Lantenois.

- "La zone de forte subsidence au Nord du gîte de l'Imini correspond actuellement à de longues cassures ou flexures d'âge atlasique qui devaient préexister. Le fait est particulièrement frappant pour la faille de l'Oued Tidili sur laquelle le Trias épais de plus de 150m à moins de 1km au Nord vient s'arrêter brusquement. Un peu plus au Nord, une deuxième fracture correspond à un nouvel épaississement du Trias et à l'apparition des basaltes."

  (G. Jouravsky et G. Pouit, 1960)

III - ETUDE DU CENOMANO-TURONIEN

1) LE CENOMANO-TURONIEN, ETAGE MINERALISE : APERCU DE LA MORPHOLOGIE DU GISEMENT

2) INTRODUCTION A L'ETUDE DU CENOMANO-TURONIEN

A - Pétrographie

- A1 - Présentation de la série
- A2 - Eléments détritiques
- A3 - Diagenèse

B - Paléontologie

3) ETUDE REGIONALE DU CENOMANO-TURONIEN

A - Isopaques du Cénomano-Turonien

B - Coupe du Cénomano-Turonien NNW-SSE perpendiculairement à l'axe du gisement

- B1 - Travail réalisé
- B2 - Justifications des corrélations effectuées entre ces coupes
- B3 - Résultats

C - Coupe du Cénomano-Turonien suivant l'axe ENE du gisement

- C1 - Travail réalisé
- C2 - Justifications des corrélations effectuées entre ces coupes
- C3 - Résultats

D - Conclusions de l'étude des coupes du Cénomano-Turonien

- D1 - Discordance entre le Cénomano-Turonien et le Sénonien
- D2 - Régularité de la formation cénomano-turonienne
- D3 - Etude du banc de dolomie gréseuse rosée

E - Etude de la limite Sud du Cénomano-Turonien

- E1 - Introduction
- E2 - Travail réalisé
- E3 - Résultats

III - ETUDE DU CENOMANO-TURONIEN

L'étage porteur de la minéralisation est le Cénomano-Turonien (cf.II,D2 Aussi, en introduction à l'étude de cet étage, nous donnerons un aperçu rapide de la minéralisation, du fait que, sous la forme des couches 1, 2 et 3, elle est présente dans les différentes coupes du Cénomano-Turonien (Fig.4,5,6 et 7

1) LE CENOMANO-TURONIEN, ETAGE MINERALISE : APERCU DE LA MORPHOLOGIE DU GISEMENT

La minéralisation se présente en trois couches d'oxydes de manganèse (pyrolusite, psilomélane s.l.) (cf. Fig page 20a).

- Les couches 1 et 2, séparées ou non par un entre-deux, et quasiment superposables, se trouvent à la base de la formation dolomitique,
- la couche 3, localisée souvent au Nord des couches 1 et 2, se trouve à environ 5m au dessus du niveau de la couche 2, au sommet de la formation dolomitique.

Les lentilles minéralisées sont alignées suivant un axe rectiligne ENE-WSW (dit "axe privilégié") ; c'est le principal guide de prospection utilisé (cf. fig.2).

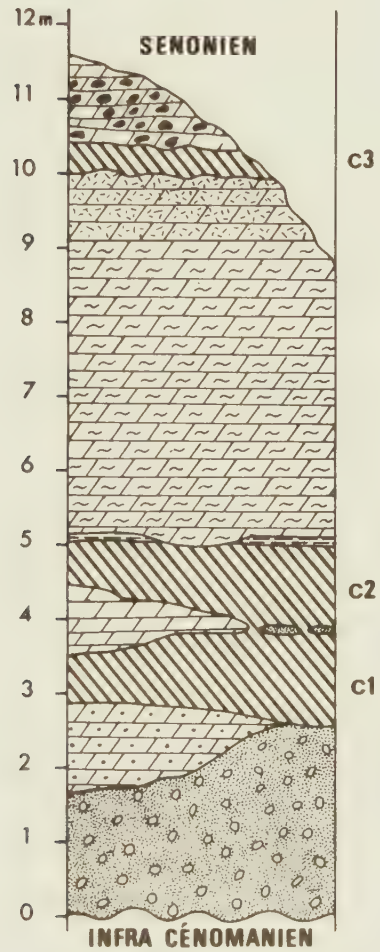
La minéralisation est presque continue sur 20 Km de Bou Agguioun jusqu'à Boulgir. Les lacunes de la minéralisation visibles sur la figure correspondent soit à l'érosion (Oued Boulgir, Oued Imini), soit à des zones en cours de reconnaissance (Assaoud).

Perpendiculairement à cet axe, la minéralisation s'étale sur plusieurs centaines de mètres de large avec au Nord une limite presque rectiligne, assez brutale, et très souvent, un passage au fer net. Au contraire, au Sud, la limite est beaucoup plus irrégulière, la minéralisation s'appauvrissant progressivement.

A l'Ouest de Boulgir, cet axe se ramifie en deux branches (cf. fig.19) l'une au Nord avec des minéralisations en couche 3 (de Boulgir plateau à Areg) l'autre au Sud avec les couches 1 et 2 (jusqu'à Bou Tataght). Contrairement aux quartiers précédents, ces minéralisations y sont très discontinues et elles sont de moindre importance au point de vue tonnage.

Deux petits quartiers sont à exclure de ce classement. Lantenois et Tazoult N'Oumredoua (cf. fig.19) ; ce sont des poches minéralisées qui ne sont pas à comparer avec les autres quartiers où les couches présentent toujours un aspect stratiforme.

Coupe synthétique du Cénomano-Turonien



Dolomie à silex
Dolomie blanc-orangé
Dolomie fossilifère
Argile brun-rouge
Dolomie blanc-rosé
Grès argileux rosé
Dolomie gréseuse
Conglomérat gréseux
Oxydes de manganèse

2) INTRODUCTION A L'ETUDE DU CENOMANO-TURONIEN

Dans le but de replacer le gisement dans son contexte géologique, G. JOURAVSKY et G. POUIT (1960) avaient tenté de reconstituer la paléogéographie du bassin de l'Imini. Grâce aux observations possibles en raison de l'érosion de l'oued Imini à l'Est du gisement, ils avaient pu conclure que la minéralisation se rencontre "dans une dalle cénomano-turonienne, sur un plateau continental et quelques kilomètres en amont d'une zone de subsidence, laquelle avait toute son ampleur à une période antécénomanienne". (cf.fig.2).

Il est difficile de préciser davantage ce caractère très important, du fait des difficultés rencontrées sur le terrain : en effet, les formations les plus récentes (Sénonien, Eocène, Miocène et Pliocène) empêchent le plus souvent toute étude des terrains d'âge antérieur, et l'érosion le long des oueds est souvent insuffisante pour permettre des levés complets :

- le socle précambrien n'apparaît qu'à l'Ouest du gisement ; les schistes ordoviciens apparaissent au contraire à l'Est, et leur contact avec le socle n'est jamais visible.

- On ne peut avoir une idée de la puissance du Trias que dans la mesure où les schistes ordoviciens sous-jacents sont présents, ce qui limite cette étude à quelques kilomètres seulement.

- L'étude des formations argilo-gréseuses de l'infra-Cénomanien est rendue difficile par le fait qu'elles sont de même nature que les terrains sous-jacents lorsque ceux-ci se trouvent être le Trias. (Le principal critère de reconnaissance est la couleur plus rougeâtre des formations détritiques triasiques). De plus, les éboulis de la dalle cénomanienne masquent le plus souvent ces formations infra-cénomaniennes.

- Au contraire, l'étage dolomitique du Cénomano-Turonien se distingue bien des autres étages, et nous avons de ce fait des données sur l'ensemble de la région de l'Imini, sauf en sa partie centrale (Tighermit, Assaoud), où les logs d'anciens sondages ne sont pas assez précis pour être exploités.

Il est cependant difficile de corréler les différentes coupes levées, du fait de l'uniformité de la série dolomitique, en particulier à l'Ouest d'Imini.

Pour les raisons évoquées précédemment, le Cénomano-Turonien sera néanmoins le seul étage dont on essaiera de reconstituer la paléogéographie afin de compléter l'étude de G. POUIT et G. JOURAVSKY, après en avoir donné ses caractéristiques au point de vue pétrographique et paléontologique.

A - Pétrographie (cf. Planche A)

A1 - Présentation de la série

Une coupe synthétique du Cénomano-Turonien, levée au niveau du gisement, est donnée par le figure de la page 20a. Cette figure ne comporte pas les terrains antérieurs ou postérieurs au Cénomano-Turonien, du fait que sur ce point, chaque coupe dépend de sa localisation par rapport aux différentes transgressions (cf. fig.2) : ainsi, une coupe levée dans le secteur de la galerie Lantenois, à l'Ouest du gisement, montre une série dolomitique cénomano-turonienne presque directement transgressive sur un socle rhyolithique, avec pour seul intermédiaire 4 à 5m de formations marneuses à conglomératiques rattachées à l'Infra-Cénomanien. A l'Est du gisement, par contre, la corniche dolomitique, de même puissance qu'à Lantenois, surmonte 10 m d'Infra-cénomanien, et 10 m de Trias, lui-même transgressif sur le socle schisteux ordovicien.

Cependant, la série dolomitique, elle-même, que l'on caractérisera par sa régularité, (cf. III-3) présente toujours sensiblement le même aspect.

La série débute par une alternance de rudites et d'arénites, parfois feldspathiques, à ciment dolomitique ou plus rarement ferrugineux. Ces roches sont affectées de nombreux phénomènes sédimentaires, parmi lesquels chenaux et stratifications entrecroisées sont les plus fréquents.

La série devient ensuite essentiellement dolomitique. Il s'agit d'abord de dolomicrosparite graveleuse puis gréseuse ; ensuite à partir du niveau de la couche 1, la dolomie devient très pauvre en détritiques, avec une exception : l'entre-deux entre les couches 1 et 2 à l'Est du gisement, qui sera l'objet d'une étude particulière (cf. III - 3-D).

Cette dolomie est parfois parcourue de filonnets de calcite, ou montre quelques cristaux dédolomitisés. Ce dernier phénomène peut être localement important avec des pourcentages en calcite de 15-20%.

Au dessus de la couche 2, et jusqu'en haut de la série, on a toujours une dolomicrosparite, avec au dessus de la couche 3, un banc riche en silex.

A2 - Eléments détritiques

Rencontrés dans la série, principalement à sa base, ils sont de différentes sortes :

A2.1 - Eléments de roche

Ceux-ci fréquents à la base de la série, semblent avoir 2 origines principales :

- un granite, reconnaissable à l'association équi-granulaire quartz - feldspath alcalin ou plagioclase.
- une roche microgrenue, reconnaissable à l'association entre de gros cristaux de quartz (probablement phénocristaux) et une fraction microcristalline du même minéral : ce pourrait être un microgranite ou une rhyolithe.

On trouve plus rarement l'association graphique de quartz et d'orthose.

A2.2 - Quartz

C'est le principal élément rencontré. En dehors des grains roulés habituels, il peut avoir une allure caractéristique :

- phéno-cristaux automorphes avec des golfes de corrosion où pénètre la fraction microcristalline de la roche (microgranite ou rhyolithe)
- quartz micropegmatitique, pouvant provenir d'un granophyre
- textures sphérolitiques (pyromérides).

A2.3 - Feldspaths

Après le quartz, ce sont les principaux éléments, qui se retrouvent, avec une importance variable, dans toute la série. On reconnait des représentants des deux familles :

- feldspath potassique ; en particulier des cristaux de microcline montrant l'association des macles polysynthétiques de l'albite et de la péricline
- plagioclase : par la méthode de Michel Levy, on a déterminé de l'oligoclase (10-30% An) ou de l'andésine (30-50% An).

A2.4 - Autres éléments détritiques

Ce sont les détritiques trouvés habituels : micas (muscovite, et beaucoup plus rarement biotite) ; chlorites, minéraux des argiles non identifiables tourmaline, apatite, zircon.

A2.5 - Phosphates

Ils correspondent vraisemblablement à des débris d'os reconnaissables à leurs formes allongées et à leur biréfringence très faible. On en rencontre des spécimens isolés d'un bout à l'autre du gisement, au-dessus de la couche 1.

A3 - Diagenèse

La série ne montre guère de minéraux authigènes autres que le quartz sou forme de concrétions de calcédoine, ou comme produit de nourrissage tardif autour de grains de quartz détritiques.

On rencontre aussi, dans des brèches équivalent latéral des couches (cf. IV-3) des agrégats de minéraux chloriteux ou argileux, non identifiables, dont l'aspect indique une formation dûe à la métasomatose.

B - Paléontologie

La série est pauvre en fossiles en dehors de deux bancs bien individualisés (cf. fig. 4 et 5) :

- Un banc de dolomie claire à taches roses, qui sera qualifiée dans toute cette étude de dolomie fossilifère, car depuis longtemps, on y a reconnu des bivalves (Exogyra Africana Coquand determination G. Termier). Des oursins mal conservés peuvent également s'y rencontrer.

- Un banc de dolomie à silex avec des stromatolithes non identifiables, qui se présentent comme des cylindres verticaux bien individualisés de diamètre variant de quelques centimètres à une vingtaine de centimètres.

  Ce banc montre aussi quelques rares dents de squales d'une taille de l'ordre du centimètre (coupe B - fig. 1, Affleurement 7) ; on y a exceptionellement découvert une dentition de raie comportant 18 dents (coupe C - fig. 1). Ces dents de squale ou de raie se retrouvent au sein du minerai de la couche 3, au mur de cette même dolomie à silex (Affleurement 7, Areg). Ce sont d'ailleurs elles qui avaient été les premières à attirer l'attention. (T. Durand, A. Belmezouar).

  Enfin, on rencontre épars dans la série dolomitique quelques rares gastéropodes ainsi que des tests non identifiables, souvent calcifiés.

3) ETUDE REGIONALE DU CENOMANO-TURONIEN

A - Isopaques du Cénomano-Turonien

Ces isopaques ont été tracées à partir de levés de terrain et non d'après des Logs de sondages qui se révèlent impossibles à exploiter en raison de leur ancienneté ou de leur insuffisance.

L'isopaque 12m a été tracée sur la figure 2. Elle est à peu près parallèle à l'axe privilégié de la minéralisation, lui-même assez proche de l'isopaque 10-11m.

La puissance du Cénomano-Turonien augmente très progressivement du NNW vers le SSE. La transgression cénomanienne conserve le même sens que celles des terrains d'âge antérieur, mais il n'y a plus présence d'une fosse de subsidence au Nord, du côté atlasique : au contraire des précédentes, elle a opéré sur un fond extrêmement plat, et l'on ne peut déceler ni paléocreux, ni paléobosses.

Une autre donnée parait confirmer cette direction pour la transgression cénomanienne : à la limite avec l'infra-cénomanien, la dolomie repose sur un substratum marneux au Nord, qui devient un conglomérat à éléments centimétriques du socle vers le Sud. La limite de passage entre marnes et conglomérats, qui correspond vraisemblablement à une ligne d'égale distance du rivage, est aussi sensiblement parallèle à l'axe du gisement (cf. fig.2).

Une étude plus précise de cette transgression, pouvant être poursuivie sur une dizaine de kilomètres, est difficile en raison du faible nombre de possibilités qui sont d'Ouest en Est :

- le long de l'Oued Tidili : l'inconvénient majeur est que la minéralisation, surtout en couches 1 et 2, se présente de manière sporadique, répartie en des points disséminés sur une grande étendue (sur 3km environ en direction NNW du Sud de l'affleurement 7 au secteur Sud-Lantenois). La corrélation des coupes est d'autant plus aléatoire.

- Le long de l'Oued Boulgir : la possibilité de lever des coupes est réduite du simple fait que la falaise de Cénomano-Turonien est très fracturée et discontinue. Il y a de plus, certaines difficultés pour caler le sommet de ces coupes par rapport à un Sénonien localement absent.

- Le long de l'Oued Timkit : les remarques précédentes restent valables avec l'inconvénient supplémentaire que cette coupe ne peut donner de renseignements que sur la partie au Nord de la minéralisation.

- Le long de l'Oued Imini : c'est le travail qui a été effectué, la falaise se présentant de manière régulière et sous recouvrement de Sénonien. De plus, la minéralisation a un aspect très net en couches 1 et 2 au niveau de Bou Agguioun.

B - Coupe du Cénomano-Turonien NNW-SSE perpendiculairement à l'axe du gisement

B1 - Travail réalisé

Une vingtaine de coupes ont été levées, du Nord de Tiselday (à 7 kms au Nord de l'embranchement de la mine, sur la route de Marrakech) à l'Est de Bou Agguioun (accès par une ancienne piste partant entre Iflilt et Amerzgane en direction d'Ait Ben Haddou) en passant par la zone minéralisée elle-même (accès par la piste à la sortie d'Iflilt).

Ces coupes sont affectées d'une lettre, par ordre alphabétique du Nord au Sud, et sont toutes calées par rapport à l'infra-Cénomanien (grès, conglomérats, marnes) et par rapport au Sénonien transgressif (argilites) - sauf les coupes M et Q.

Leur localisation est donnée sur les figures 1 et 3.

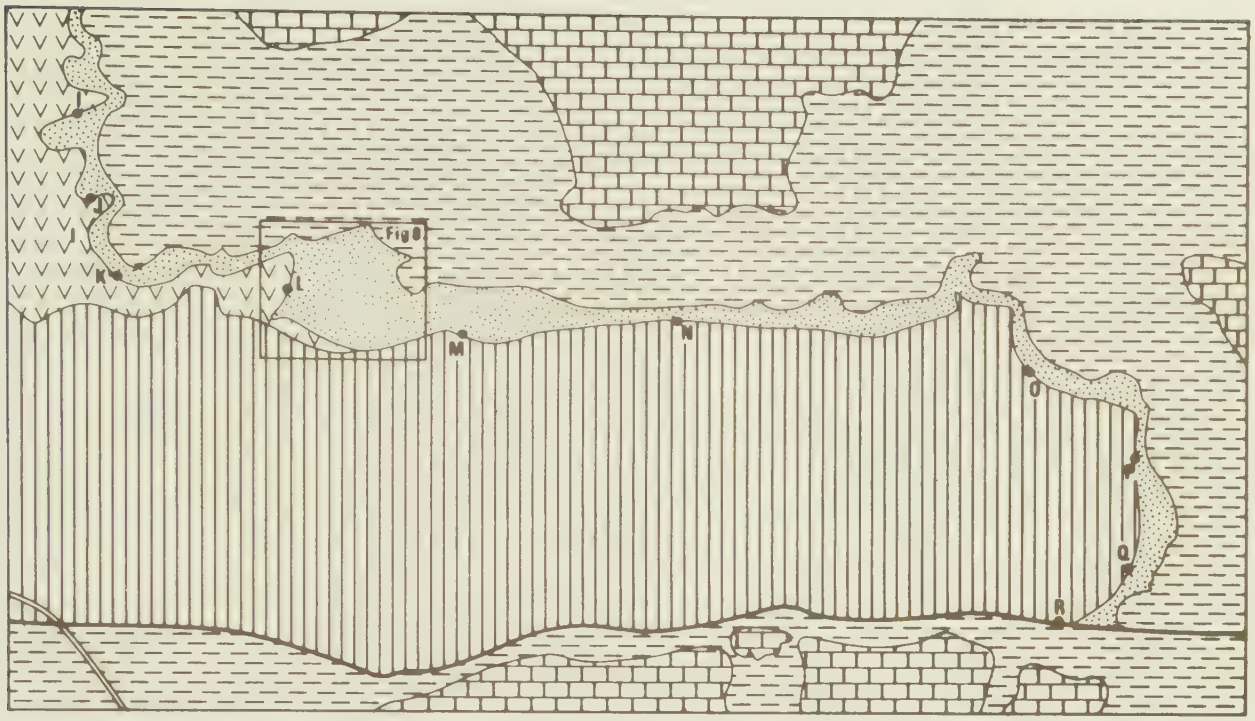


Fig - 3 - Bou Agguioun - Localisation des coupes I à R (cf fig 4)

Carte géologique d'après G. POUIT (ν $\frac{1}{28000}$)

légende p. 12

B2 - Justifications des corrélations effectuées entre ces coupes

Toutes ces coupes ont été projetées ensemble, sur une coupe de direction approximativement NNW - SSE, alors que la première (A) et la dernière (R) sont distantes de près de 8 km perpendiculairement à cette direction. Ceci, qui résulte des seules possibilités offertes par l'affleurement de la corniche dolomitique, peut cependant se justifier : cette direction ENE est perpendiculaire à la direction de la transgression du Cénomano-Turonien qui garde suivant cette direction, du fait de la régularité de la transgression qui a opéré sur un fond extrêmement plat, sensiblement les mêmes caractéristiques.

Toutes les coupes ont été calées par leur sommet à la base du Sénonien transgressif. Cette limite se justifie par sa netteté : le contact des argilites rouge orangé avec des dolomies à patine plus ou moins blanche est parfaitement visible, par opposition au contact Cénomanien - InfraCénomanien qui au Sud, près du rivage, se présente comme un passage de conglomérats à conglomérats.

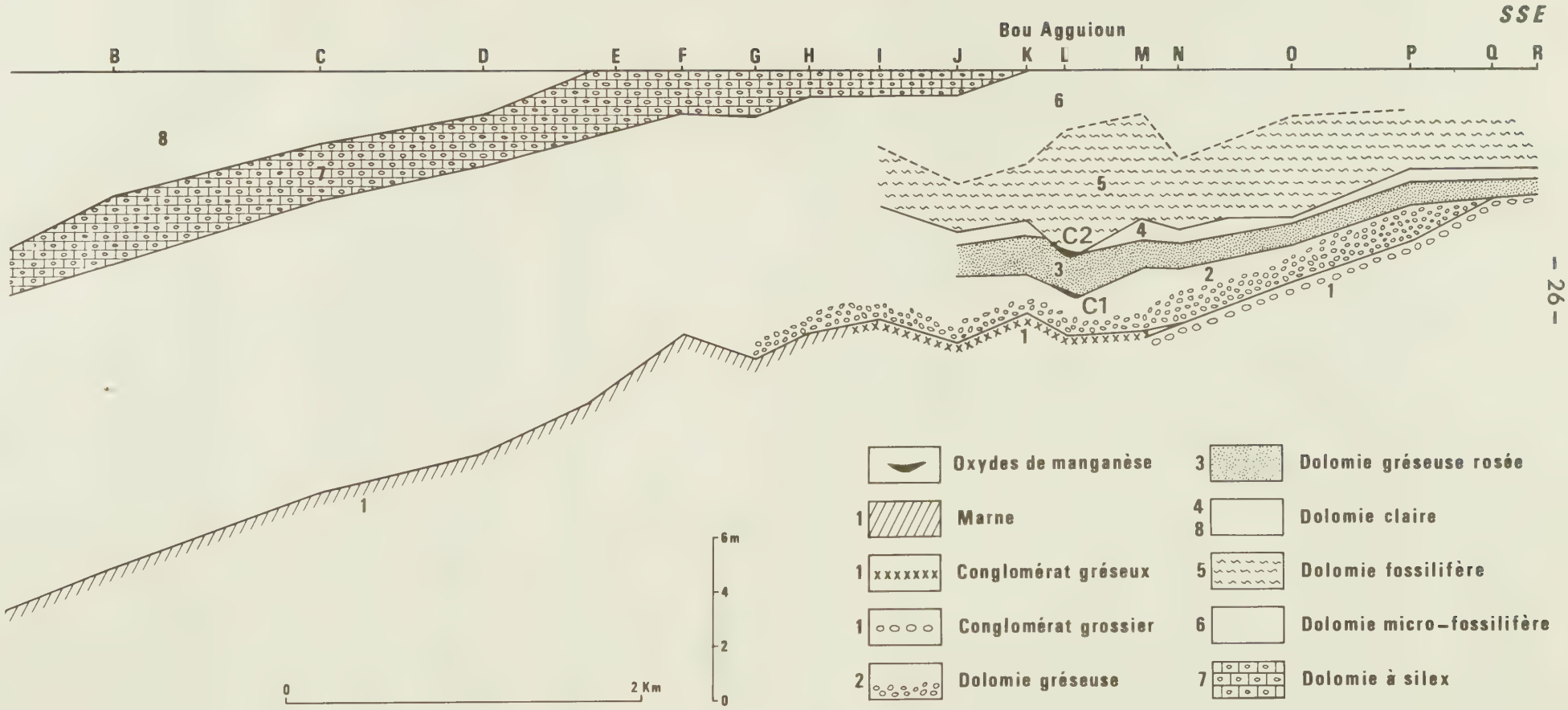


Fig - 4 - Coupe NNW - SSE du Cénomano - Turonien (localisation des coupes sur les fig.1 et 3)

B3 - Résultats (cf. fig.4)

B3.1 - Variation de puissance.

Cela confirme l'impression donnée par les isopaques puisque l'on ne voit aucune irrégularité anormale entre les différentes coupes.

Cet étage s'épaissit très lentement et très progressivement du Sud vers le Nord en passant de 7m au niveau de la coupe Q, à 11m au niveau de la zone minéralisée de Bou Agguioun, et à 23m pour la coupe A située la plus au Nord, à environ 8kms de la coupe R (en direction NNW). On ne note qu'une seule faille importante, située entre les coupes C et D , elle se signale par un rejet de la série dolomitique d'une trentaine de mètres, une direction NE, mais il n'en résulte aucune modification pour la puissance du Cénomano-Turonien.

B3.2 - Stratigraphie

Les corrélations entre les différentes coupes, si elles sont possibles dans la partie Sud, deviennent beaucoup plus difficiles au Nord. La dolomie devient en effet de plus en plus cristalline, d'aspect uniforme et la corniche présente un aspect de plus en plus massif.

Il est cependant possible de suivre trois bancs qui s'individualisent bien. De bas en haut, ce sont :

- un banc de dolomie gréseuse reconnaissable par sa surface piquetée de grains millimétriques de quartz, et par sa couleur rose-violacée : Au niveau de Bou Agguioun, ce banc est l'entre-deux, séparant les couches 1 et2. Nous étudierons de manière plus précise les caractéristiques de ce banc (III - 3D).
- un banc de dolomie riche en fossiles (lamelli branches, cf. III - 2B), d'une patine blanche, et présentant des taches rose brun plus ou moins allongées, millimétriques à centimétriques, réparties uniformément, qui sont très caractéristiques. Il présente de plus, un aspect très massif, formant la partie surplombante de la corniche dolomitique. Il passe à son sommet, plus ou moins progressivement, à une dolomie fine, blanc orangé à rosé, avec des filaments violacés, parfois fossilifère . L'épaisseur de la seule dolomie fossilifère "à taches rose-brun" varie entre 3 et 5m, ces variations s'expliquant surtout par le manque de netteté de sa limite supérieure. A hauteur de Bou Agguioun, ce banc constitue le toit de la couche 2.
- Un banc de dolomie à silex, très fine, à patine blanche, qui apparait le plus souvent en petits bancs décimétriques dont le nombre oscille entre 15 et 20. Les silex allongés peuvent former des plaques de 40cm par 20cm pour une hauteur de 5cm. Différents fossiles très caractéristiques comme des stromatolithes ou des dents de squales y ont été trouvées (cf. III - 2B).
- Rappelons aussi que le contact du Cénomano-Turonien avec l'Infra-Cénomanien est bien net, surtout entre les coupes A et H, puisque ce dernier est représenté par des marnes jaunâtres à rougeâtres d'une puissance de l'ordre du mètre. Plus au Sud, vers le rivage, le passage est un contact moins tranché entre des microconglomérats et des grès dolomitiques.

C - Coupe du Cénomano-Turonien suivant l'axe ENE du gisement (cf. fig.5)

C1 - Travail réalisé

Une seconde coupe a été tracée perpendiculairement à la précédente, suivant l'axe du gisement. Elle regroupe tous les affleurements du Cénomanien situés entre l'affleurement 7, à l'Ouest, et les affleurements de l'Extrême-Est (accès par Tazleft), à l'exception de Tighermit (les puits ne peuvent plus donner lieu à des observations).

C2 - Justification des corrélations effectuées entre ces coupes

Il est délicat de corréler ces coupes du fait que l'on ne peut passer continûment d'une coupe à l'autre, ou en raison du recouvrement, ou en raison de l'érosion.

Ces coupes n'étant pas toutes calées par rapport au Sénonien transgressif, elles ont été corrélées en choisissant la base de la dolomie fossilifère comme niveau-repère. Ceci se justifie par sa régularité à l'échelle du bassin de l'Imini et parce qu'elle s'individualise bien par rapport aux formations sous-jacentes ; cette dolomie devait correspondre à des conditions physico-chimiques de dépot bien particulières qui régnaient alors sur toute la partie Sud du bassin.

C3 - Résultats

C3.1 - Variation de puissance

La coupe est tracée approximativement suivant l'isopaque 12m, et ne montre aucune variation significative.

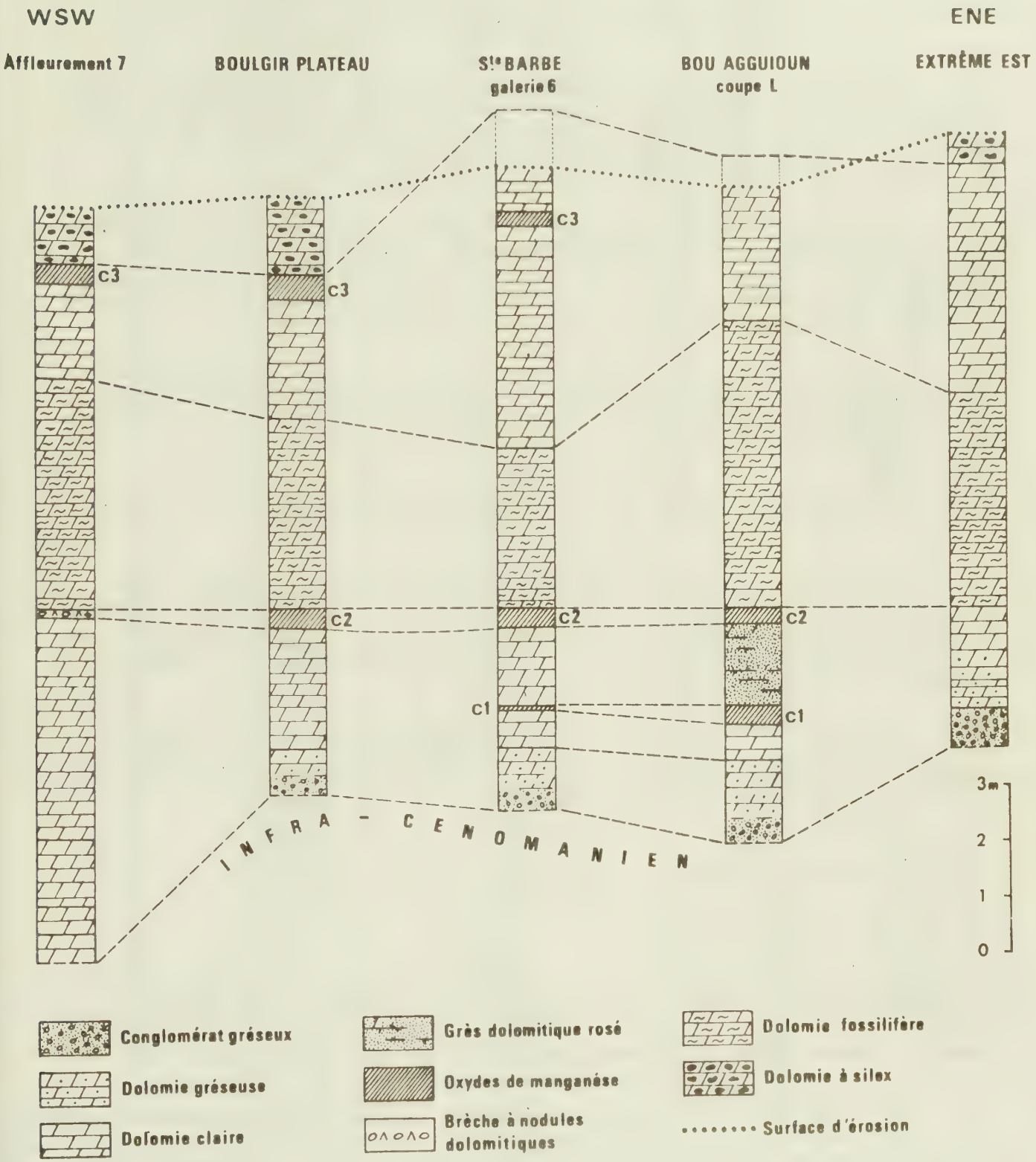
C3.2 - Stratigraphie

A l'instar de la coupe précédente, deux bancs s'individualisent bien :

- le banc de dolomie fossilifère : Si sa base peut servir de niveau repère, sa puissance reste toujours discutable, sa limite supérieure étant difficile à définir.
- le banc de dolomie à silex : Sa base a été tracée de manière continue. Comme la dolomie à silex n'apparait pas par suite de l'érosion dans les coupes de Ste Barbe et de Bou Agguioun, on a déduit des affleurements les plus proches sa position approximative.

Au contraire de ces deux bancs, on ne retrouve pas sur l'ensemble du gisement le banc de dolomie gréseuse signalé précédemment (B3.2) qui était l'entre-deux entre les couches 1 et 2 au niveau de Bou Agguioun.

Fig.– 5 – Coupes du Cénomano-Turonien suivant l'axe du gisement d'Imini



D - Conclusions de l'étude des coupes du Cénomano-Turonien

D1 - Discordance entre le Cénomano-Turonien et le Sénonien

Cette discordance qui apparait nettement dans le biseautage de la dolomie à silex sur la figure 4, par l'intermédiaire de deux échelles très différentes, est en fait très faible puisqu'elle est de l'ordre de 0,1°. Elle suffit pour démontrer une phase d'émersion et d'érosion, avant la transgression du Sénonien qui s'étend plus au Sud.

Des traces de cette émersion sont visibles, en particulier au dressant de Sainte Barbe. Le Cénomano-Turonien se termine par un petit lit décimétrique de dolomie blanc rosé qui, sur les 2-3 cm supérieurs devient bréchique et de couleur orangée. On peut le suivre continûment sur plusieurs centaines de mètres à l'Ouest de l'entrée de la galerie 6.

Plus précisément, il s'agit d'une dolomicrite graveleuse passant à une dolomicrosparite gréseuse à galets mous de dolomicrite. Le contact entre les deux est irrégulier et ressemble à une brèche monogénique de dessication présentant des éléments subarrondis de dolomicrite

D2 - Régularité de la formation cénomano-turonienne

Les isopaques ainsi que les coupes montrent que la dolomie s'est déposée sur un fond extrêmement plat. Les variations de puissance entre les coupes sont trop régulières et trop faibles, pour que l'on ait pu mettre en évidence l'existence de paléocreux ou de paléobosses, même de l'ordre de quelques mètres seulement.

Les bancs de dolomie fossilifère et de dolomie à silex se retrouvent à l'échelle régionale conservant les mêmes particularités. A un instant donné, les caractéristiques physico-chimiques propres au bassin de sédimentation de l'Imini devaient donc rester très homogènes.

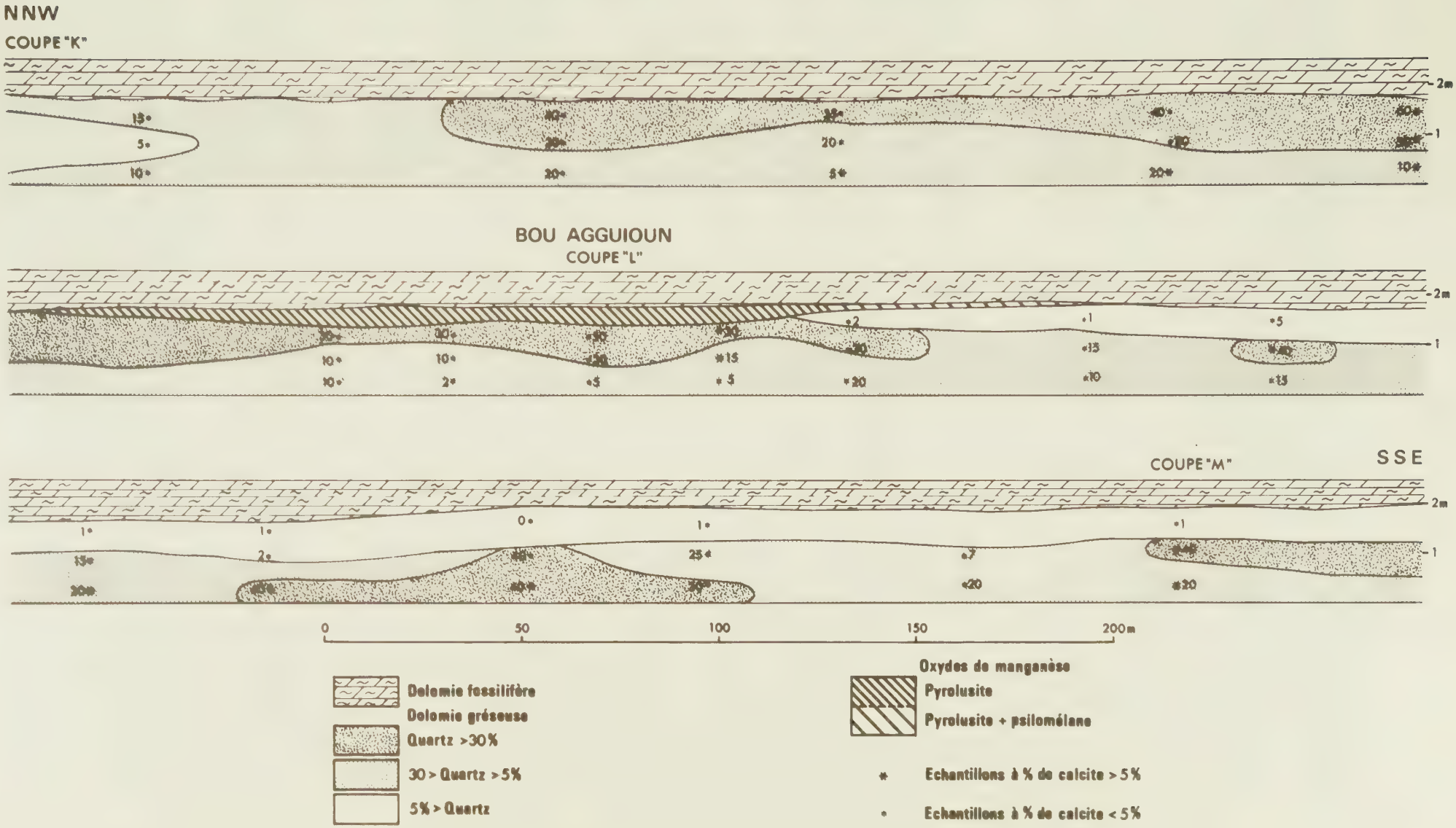
D3 - Etude du banc de dolomie gréseuse rosée

D3.1 - Travail réalisé

On suit ce banc sur la coupe NNW-SSE, au niveau de Bou Agguioun (cf. fig.4). Par contre, sur la coupe perpendiculaire ENE-WSW (cf. fig.5), il n'apparait pas : gréseux à l'Est, il devient moins riche en détritiques au niveau de Sainte Barbe, puis franchement dolomitique vers l'Ouest. Ceci est à opposer à la très grande régularité d'ensemble du dépot cénomanien.

Une étude de détail a été réalisée aux rayons X, sur la coupe NNW-SSE, (cf. fig.5), entre les coupes F et Q, afin de suivre l'évolution du pourcentage de détritiques et de leur nature. Le nombre trop restreint de possibilités d'échantillonnage de ce banc perpendiculairement à cette direction a rendu impossible toute étude complémentaire.

Fig – 6 – Etude du banc de dolomie gréseuse entre les coupes "K" et "M" de Bou Agguioun (cf. Fig 3)



D3.2 - Résultats et interprétation

a) L'étude aux rayons X a permis de déduire des données semi-quantitatives sur la proportion de dolomie, quartz et calcite ; les autres éléments -feldspaths, chlorites, minéraux des argiles- apparaissent trop faiblement pour pouvoir être dosés. Des mesures de calcimétrie ont été faites, permettant de vérifier l'estimation de la teneur en calcite donnée par les rayons X.

La figure 6 représente la coupe du banc comprise entre les coupes H et M, avec les pourcentages en quartz correspondant à chaque échantillon. On a également distingué les échantillons à pourcentage de calcite supérieur à 5%.

Elle montre que la teneur en détritiques n'augmente pas de manière régulière du NNW vers le SSE, à mesure que l'on se rapproche de la ligne de rivage.

b) L'entre-deux est franchement dolomitique au Nord de la coupe K (son étude de la coupe K à la coupe I n'a pas été représentée sur la fig.6). Au contraire au Sud, après la coupe M, il comprend 2 bancs bien individualisés, prolongements de ceux représentés sur la figure : un banc inférieur de dolomie gréseuse (environ 40% de quartz) que l'on peut suivre jusqu'à la coupe R, surmonté d'un banc de dolomie très pure (quartz $< 2\%$), que l'on peut suivre jusqu'à la coupe O.

c) De l'étude de la partie centrale représentée par la figure 6, on peut faire différentes observations :

- le pourcentage de détritiques augmente progressivement de bas en haut du banc de dolomie gréseuse.
- Il y a enrichissement important en détritiques de la dolomie gréseuse au niveau du gisement de Bou Agguioun. Cet enrichissement se prolonge 200m au Nord ; au Sud, il se rattache de manière discontinue au banc de dolomie très riche en détritiques.
  Notons qu'on rencontre dans cette dolomie gréseuse de rares passées dolomitiques horizontales. Certaines sont des intercalations de puissance centimétrique, d'extension latérale métrique, qui sont percées de trous de contour irrégulier, à remplissage détritique : ce pourraient être des pistes de vers. D'autres, d'extension latérale inférieure (10-20cm) sont des petites lentilles de dolomie : il y a dans la passée dolomitique d'une part évolution progressive de la taille des cristaux, et d'autre part sa surface supérieure est une surface de discontinuité dans la sédimentation. Ceci correspondrait à de petites dépressions où régnerait localement un Ph plus élevé et où se serait déposé une mince pellicule dolomitique.
- Cette dolomie gréseuse est surmontée à partir de l'extrémité Sud du gisement de Bou Agguioun, d'un banc de dolomie très pauvre en détritiques, de couleur blanc à rosé. Le passage de l'une à l'autre est très brutal avec présence de galets mous dolomitiques, ou de traces de pistes de vers (?) dans la partie gréseuse.
- Il y a variation de puissance de l'entre-deux au niveau de la zone minéralisée de Bou Agguioun. Alors que sa puissance normale est de 180-200cm, elle peut diminuer jusqu'à 110cm.

Une cinquantaine de mesures ont été effectuées sur la falaise, auxquelles il faut ajouter d'autres mesures prises dans les travaux du fond. Il ressort de cet ensemble que la dolomie gréseuse présente un creux d'une cinquantaine de centimètres, (cf. fig.8, tracé de l'isopaque 130cm).

Ce creux est compensé par la présence de la minéralisation en couche 2. Des observations comparables n'ont pu être faites pour la couche 1, une campagne de mesures similaires étant impossible à réaliser.

Nous reprendrons au chapitre V ces données en les intégrant aux observations fournies par la minéralisation elle-même (Partie IV) afin d'en déduire des conclusions quant à la genèse du gisement de l'Imini.

E - Etude de la limite Sud du Cénomano-Turonien

E1 - Introduction

La position de la limite supposée du rivage a normalement intéressé de nombreux géologues qui cherchaient des données permettant d'expliquer la position et la forme du gisement. Dès 1933, L. Neltner puis plus tard J. Orcel pensaient que la disposition rectiligne du gisement était celle d'une ligne de rivage ou d'une lagune côtière. Plus récemment G. Pouit se limitait à dire : "La limite supposée du rivage est située d'après quelques lambeaux témoins de dolomie et conglomérats à 5kms environ au Sud de l'axe de la minéralisation" (cf. fig.2), sans en déduire directement des hypothèses quant à la genèse du gisement.

E2 - Travail réalisé

Différentes coupes ont été levées afin d'essayer de positionner ce rivage cénomanien, et d'avoir une idée des mouvements de transgression et de régression qui se sont déroulés durant cette période.

Ces coupes ont été levées à partir d'affleurements situés au Sud-Est de Bou Tataght (cf. fig.19). Ce sont ceux qui existent le plus au Sud, à 3kms au SSE des zones minéralisées en couches 1 et 2 représentées par l'affleurement 4 et la gara Bou Tataght.

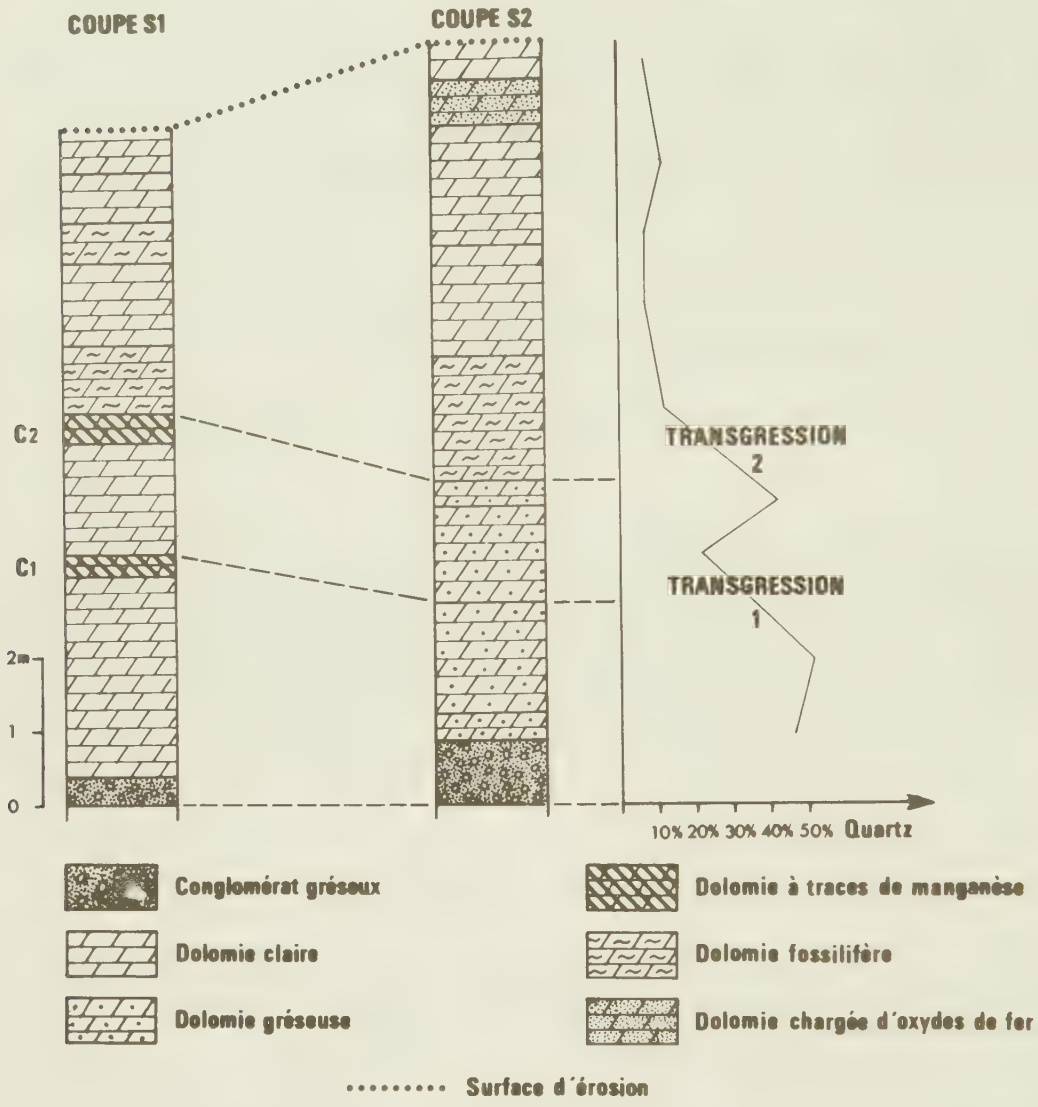
E3 - Résultats

E.3.1 - Position du rivage

Au vu de la coupe de la figure 4, il est possible de situer le rivage à 4kms environ au SSW de la zone minéralisée de Bou Agguioun (couches 1 et 2).

Au vu des puissances des coupes situées dans la zone de Bou Tataght, le rivage se trouve plus éloigné des affleurements de manganèse. Comme cette puissance est encore de 9m pour la coupe S2 et en tenant compte de l'évolution des coupes étudiées à Bou Agguioun qui reste à peu près valable compte tenu de la régularité du bassin de sédimentation, cela ferait prévoir un rivage à 5-6kms des zones minéralisées.

Fig-7- Coupes du Cénomano-Turonien du sud du gisement (cf. fig.-1)



E3.2 - Hypothèse sur les mouvements de transgression-régression

Il est difficile de corréler les différentes coupes entre elles, d. fait de la distance qui les sépare et parce que l'érosion de l'Oued Tidili empêche toute continuité de l'étude du Cénomano-Turonien. Aussi, on n'a représenté que les deux coupes S1 et S2 dont l'interprétation était la moins discutable (cf. fig.7) :

- il y a passage latéral des deux bancs de dolomie, situés l'un sous les traces de manganèse de la couche 1, l'autre en position d'entre deux entre les traces des couches 1 et 2, à une dolomie plus ou moins gréseu: Au contraire, on retrouve la dolomie fossilifère avec les mêmes caractéristiques dans les deux coupes.
- Une étude semi-quantitative aux rayons X de la proportion de quartz a été faite pour la coupe S2. Elle montre l'existence probable de deux épisodes transgressifs à l'intérieur du Cénomano-Turonien. L'équivalent latéral des couches 1 et 2 se situerait à la base de chacune de ces transgressions, au passage dolomie gréseuse - dolomie.

Il est cependant difficile, compte-tenu du faible nombre d'analyses et des difficultés de corrélation, de ne pas émettre quelques réserves sur la validité de ces résultats.

IV - ETUDE DE LA MINERALISATION

1) GENERALITES SUR LES COUCHES DE MANGANESE

A - Localisation des différentes couches

B - Nature des différentes couches

2) MINERALOGIE

A - La Pyrolusite

- A1 - Importance
- A2 - Description macroscopique
- A3 - Description microscopique
- A4 - Données cristallographiques et optiques

B - Les Psilomélanes

- B1 - Description macroscopique
- B2 - Description microscopique

C - Les Wads

D - La Lithiophorite

- D1 - Caractéristiques minéralogiques
- D2 - Relation avec les autres minéraux

E - Oxydes de fer

F - Relations entre les différents minerais

- F1 - Pyrolusite-Psilomélane
- F2 - Oxydes de manganèse - Carbonates
- F3 - Oxydes de fer - Oxydes de manganèse

3) DESCRIPTION DU GISEMENT : PRESENTATION DES DIFFERENTS QUARTIERS

A - Introduction

B - Bou Agguioun

- B1 - Situation générale
- B2 - Travaux miniers, Production
- B3 - Description de la minéralisation

C - Timkit

- C1 - Situation générale
- C2 - Description de la minéralisation

D - Assaoud

E - Tighermit

- E1 - Situation générale
- E2 - Description de la minéralisation

F - Boulgir

G - Chantiers situés à l'Ouest du gisement d'Imini

- G1 - Présentation générale
- G2 - Affleurement 5
- G3 - Affleurement 7
- G4 - Galerie Lantenois

H - Autres observations

4) ZONALITE DU GISEMENT

A - Introduction

B - Données générales

C - Une étude précise : zonalité de Bou Azzer

IV - ETUDE DE LA MINERALISATION

1) GENERALITES SUR LES COUCHES DE MANGANESE

A - Localisation des différentes couches

Le problème de la localisation d'une couche par rapport à une autre est difficile à régler car il n'existe, dans les archives de la société, aucun document à l'échelle de tout le gisement, différenciant les couches en donnant leur puissance. On représente toujours la puissance totale cumulée.

Une étude, sur ce point précis, paraissait illusoire sur le gros du gisement (Timkit-Tighermit) en raison du peu d'observations possibles en regard de l'étendue de cette partie du gisement. De plus, l'irrégularité à petite échelle des couches 1 et 2 et de l'entre-deux semblait interdire toute possibilité de conclure. Il était donc plus intéressant de se reporter sur les parties annexes du gisement, que ce soit à l'Ouest comme à l'Est, pour lesquelles on pouvait faire une étude plus complète sur des secteurs de moindre importance.

Deux figures (fig.8 et 20) représentant la position des couches 1 et 2 à Bou Agguioun et à l'affleurement 5 ont été établies, compte tenu des données que nous avons actuellement sur ces quartiers en cours d'exploitation. Si les tracés semblent fiables à Bou Agguioun, où de nombreux travaux ont été réalisés, cela n'est pas aussi vrai pour l'affleurement 5, où les travaux miniers ne sont pas actuellement suffisants pour vérifier des contours principalement établis au vu de sondages percutants contrôlés par quelques puits de vérification.

Il ressort de ces études que la localisation des couches 1 et 2 est grossièrement la même : à Bou Agguioun, par exemple, les limites des traces de manganèse au niveau des couches 1 et 2 sont pratiquement confondues. Cependant lorsqu'on parle de couche au sens du mineur -ce qui sous-entend une puissance minéralisée supérieure à 30cm, permettant l'exploitation- apparaît un certain décalage, qui peut atteindre une centaine de mètres, comme à Bou Agguioun. La morphologie des couches 1 et 2 n'est donc pas directement fonction l'une de l'autre.

La couche 3 se révèle de même totalement indépendante des deux premières couches. Sa localisation, à l'Ouest, donnée par la figure 19, montre que la couche 3 se situe en position nettement plus au Nord que les deux couches inférieures.

B - Nature des différentes couches

L'étude minéralogique (cf.IV-2) montre que l'on trouve principalement dans les trois couches pyrolusite et psilomélane avec présence d'oxydes de fer en limite Nord du gisement.

L'étude de la répartition de la pyrolusite et du psilomélane sur l'ensemble du gisement ne peut être mené à bien après 25 ans d'exploitation. Aussi, les observations faites se résumeront à quelques données trop générales ou très localisées :

- Pyrolusite et psilomélane se trouvent toujours associés (exception faite pour l'affleurement 4, à psilomélane). Nous reviendrons ultérieurement sur les phénomènes de passage du psilomélane à la pyrolusite.

- Le psilomélane se trouve souvent en position de bordure Sud par rapport à la pyrolusite (Observations faites à Tighermit Sud, à Timkit Sud et à Bou Agguioun).

- La nature des couches 1 et 2 est souvent différente. Ceci est indiscutable à l'échelle de certaines petites parties du gisement comme à l'affleurement 5 : la couche 1 à psilomélane prépondérante est toujours nettement plus pauvre que la couche 2. Il en est de même à Tighermit - et moins nettement à Timkit - où la couche 2 est encore la couche la plus riche ; ces quartiers sont cependant trop vastes pour que cette constatation puisse être considérée comme une règle absolue.
  Cette différence entre les couches 1 et 2 peut ressortir même lorsqu'elles sont de même nature -pyrolusite- et séparées seulement par un mince entre-deux résiduel centimétrique : sur des parements fraichement découpés, on peut voir que l'aspect d'une pyrolusite se différencie parfois nettement (éclat, friabilité) de celui de l'autre.
  Quant à la couche 3, elle était réputée pour donner un minerai particulier, à teneur en plomb élevée, du fait qu'elle était riche en coronadite.

Nous reviendrons plus précisément sur la description des différents quartiers en ce qu'ils ont de caractéristique à la partie IV-3 après avoir étudié la minéralogie du gisement dans son ensemble.

2) MINERALOGIE

Le gisement de l'Imini montre uniquement des oxydes de manganèse (pyrolusite, psilomélanes, wads, lithiophorite) auxquels s'associent en limite Nord du gisement des oxydes de fer (goethite, limonite, magnétite).

A - La Pyrolusite

A1 - Importance

C'est le minerai de manganèse primordial du gisement de l'Imini. La teneur en pyrolusite du minerai extrait (elle peut atteindre jusqu'à 90-95% dans certains quartiers) et ses possibilités d'amélioration en laverie, ont permis la continuité de l'exploitation après la période critique des années

1970, correspondant à la chute des cours du minerai métallurgique (cf. I-2).

A2 - Description macroscopique

Elle se présente sous des formes assez variées, souvent mêlées les unes aux autres, et se trouve associée aux autres minerais de manganèse appartenant à la famille des psilomélanes (cf.B) ou des wads (cf.C) ainsi qu'aux oxydes de fer (cf.E).

Ses différents aspects sont les suivants :

- pyrolusite friable, microcristalline en masse

- pyrolusite en trame: surtout dans certains quartiers pauvres (affleurement 5), le minerai se présente comme une trame de petits filonnets millimétriques de pyrolusite renfermant un matériel wadeux. Cette trame forme des sortes de carrés ou losanges, de côté centimétrique.

- pyrolusite en gerbes ou en fibres
  La pyrolusite est remarquablement cristallisée, formant des rubans pouvant atteindre exceptionnellement une dizaine de centimètres de hauteur (toit de la couche 2 : Tighermit Nord). Habituellement, dans le gros des couches, on distingue plutôt des rubans inférieurs au centimètre, qui se replient souvent sur eux-mêmes en entourant un matériel wadeux ou argilo-gréseux ou de la psilomélane;

- pyrolusite en structure concentrique
  Elle prend parfois l'aspect de boules à structure radiale, atteignant exceptionnellement 30 cm de diamètre (Tighermit Nord, couche 2), mais le plus souvent d'une dizaine de centimètres seulement (Tighermit Sud, au niveau de la couche 2 lorsque celle-ci se présente de manière très discontinue).

- pyrolusite en plaquettes
  Rarement présente, cette forme particulière correspond à l'oxydation,avec conservation des formes,de plaquettes de psilomélane.

- pyrolusite tapissant des bordures de fissures ou de géodes.

A3 - Description microscopique

La pyrolusite se présente sous sa forme habituelle en belles fibres, bien développées, parfois brisées.

Une analyse à la sonde a donné les résultats suivants:

Analyse de la Pyrolusite

Echantillon	MnO_2	Al_2O_3	SiO_2	Autres Eléments	Total
Affleurement 7 - Couche 3	96,72	0,1	0,84		97,66
Bou Agguioun - Couche 2	99,74	-	-		99,74
Bou Agguioun - Couche 2	104,1	0,64	2,77	0,49 Fe_2O_3 0,27 K_2O	108,27

Les autres éléments traces observés, et non dosés sont : Cu, Ca, Ni.

Ces fibres ont exeptionnellement une allure zonée, qui témoigne du fait que se présente l'asscciation pyrolusite s.s. - ramsdellite. On ne reconnait cette dernière que grâce à une couleur plus grisâtre en lumière naturelle (cf. Planche B).

Parfois elle se présente sous une forme très particulière, en chevrons, difficilement explicable : il pourrait s'agir d'une alternance dans la cristallisation entre les carbonates et la pyrolusite (cf. Planche B).

A4 - Données cristallographiques et optiques

Une étude réalisée par C. Gaudefroy, sur les caractéristiques cristallographiques et optiques de la pyrolusite, lui a permis de conclure que le bioxyde de manganèse de l'Imini était passé par la phase manganite car il possède des particularités de structure reconnaissables. Ceci n'est cependant pas obligatoirement généralisable à toute la pyrolusite du gisement de l'Imini.

B - Les Psilomélanes

B1 - Description macroscopique

Ces psilomélanes sont amorphes ou crypto-cristallins, et se présentent sous différentes formes :

- aspect massif,

- aspect lité (lits inférieurs au mm).
  Les lits sont exceptionnellement affectés de fissures paraissant dûes à la compaction (cf. Planche B) : faible rejet, amortissement rapide. Si celles-ci peuvent correspondre à des phénomènes sédimentaires, d'autres observations, telles que des rides à l'intérieur et à la surface de morceaux de psilo-

mélane, sont beaucoup plus difficiles à attribuer, car elles peuvent n'être dûes qu'à des phénomènes de concrétionnement.

- aspect concrétionné (cf. Planche B)
  L'aspect mentionné est habituel pour la famille des psilomélanes. Celles-ci prennent parfois un aspect de pisolithes avec des concrétions autour d'un coeur comportant de nombreux trous, témoins de cristaux disparus (Timkit). On les trouve aussi formant des concrétions autour d'un coeur craquelé de goethite très mal cristallisée (1-2mm), (Affleurement 6).

B2 - Description microscopique

Ces psilomélanes font partie du groupe du cryptomélane, série isomorphe dans laquelle on trouve essentiellement :

- le terme potassique : cryptomélane s.s.
- le terme plombeux: coronadite (en couche 3 seulement)
- le terme barytique : hollandite.

Leur seule particularité est de montrer souvent un faciès en étoiles qui se distinguent optiquement de la masse crypto-cristalline.

Au point de vue dosage, il est très difficile d'en faire une étude précise. La micro-sonde électronique, seul moyen pour les différencier, donne des résultats incomplets : impossibilité d'étudier la teneur en éléments légers, etc.. Quant aux analyses chimiques, elles présentent l'inconvénient de ne pouvoir être ponctuelles et de ne donner que des teneurs moyennes d'un mélange de psilomélanes

Analyse des Psilomélanes

Echantillon	Mn	BaO	PbO	K_2O	SiO_2	Al_2O_3	CaO	Fe_2O_3	P_2O_5	Total *
Bou Agguioun Couche 2	54,02	9,9	-	2,29	2,60	0,45	-	0,95	-	100,56
Timkit	53,62	-	-	5,07	0,92	1,31	1,37	-	0,71	94,20

* Mn étant considéré comme exprimé sous la forme MnO_2
Les autres éléments traces observés et non dosés sont : Mg, Cu, Ni, Co, Zn, V

Remarque : En réalisant des traversées, la sonde permet de se rendre compte que le litage des psilomélanes correspond à une variation de leur teneur en baryum et potassium, l'un remplaçant l'autre.

C - Les Wads

Ce terme représente les variétés terreuses de psilomélanes au sens large. Ce sont des minéraux légers de couleur brunâtre à noirâtre.

Pour le mineur, ils ne constituent pas un minerai exploitable, et pour le minéralogiste, ils restent un point d'interrogation, leur étude étant rendue très difficile en raison de leur friabilité.

D - La lithiophorite

Non signalée jusqu'à présent, elle a été observée sur une dizaine de sections polies provenant de divers points du gisement et à différents niveaux (couches 1, 2 ou 3 ou poches de minerai intermédiaire). Remarquablement cristallisée (Planche B), elle a été reconnue par ses propriétés optiques puis sur diagramme de rayons X.

D1 - Caractéristiques minéralogiques

A la différence des lithiophorites classiques qui se présentent en agrégats souvent cryptocristallins avec développement plus ou moins sphérolitique, le minéral est ici en monocristaux très bien formés atteignant 0,2 à 0,3 mm. On note d'ailleurs déjà dans ces cristaux une structure nettement hexagonale.

Indépendamment de la taille assez exceptionnelle de ces cristaux, les caractéristiques optiques de l'espèce demeurent inchangées, à savoir : pléochroïsme très fort et anisotropie extrême. En lumière naturelle, le minéral passe du blanc gris au gris sombre. En lumière polarisée, l'anisotropie extrême a lieu dans des tons incolores, devenant légèrement bleuâtres si l'on décroise fortement les nicols.

D2 - Relation avec les autres minéraux

Le minéral se présente dans des échantillons de minerai massif, à structure parfois stalactiforme, en alternance avec des zones cryptocristallines formées de psilomélane et de MnO_2. Tantôt la lithiophorite se trouve en position centrale par rapport à ceux-ci, tantôt à la périphérie. On la trouve également sous forme de petits amas ou tapissant des micro-fissures dans du psilomélane amorphe, ainsi que dans des échantillons de psilomélane lité, préférentiellement dans certains lits.

La lithiophorite sous sa forme cryptocristalline classique ne s'observe que très rarement, en petites concrétions éparses dans le psilomélane.

E - Oxydes de fer

Présent dans le minerai de manganèse à des teneurs très faibles (inférieures à 1%), le fer ne prend de l'importance, pour apparaître sous forme d'oxydes, qu'en bordure Nord du gisement (cf. IV-3 : Boulgir, Affleurement 7).

Ces oxydes ont souvent une allure très remaniée, et tardive. On observe de nombreux phénomènes de concrétionnement : stalactites centimétriques de goethite, géodes tapissées d'oxydes de fer etc...

Au microscope, en plus de la goethite et de la limonite déjà signalées, on a pu observer de la magnétite martitisée (cf. Planche B), représentative d'un degré d'oxydation du fer plus faible, qui est peut-être simplement d'origine détritique, sans liaison avec le reste du gisement.

F - Relations entre les différents minerais (Planche C)

F1 - Pyrolusite - Psilomélane

* La pyrolusite se présente le plus souvent sous des formes témoignant d'une cristallisation relativement récente, quoique ceci ne soit pas évident lorsqu'elle se présente seule, en masse cryptocristalline.

Au contraire, on trouve souvent la psilomélane sous forme bréchique, et donc antérieur à des phénomènes de démantèlement qu'il a subi.

Indépendamment de ces observations générales à l'ensemble du gisement - pyrolysite "récente", psilomélane "ancien" - il est normal de trouver de nombreux exemples où la pyrolusite, qui représente le degré d'oxydation le plus élevé (Mn^{4+}), se montre postérieure au psilomélane : cristallisation de pyrolusite autour de morceaux de psilomélane -psilomélane "mangé" par la pyrolusite.

* Les passages de l'un à l'autre sont apparents lorsque la pyrolusite se présente en pseudomorphoses d'agrégats réniformes de psilomélane.

Lorsqu'ensuite ces agrégats de pyrolusite commencent à se désagréger du fait de la friabilité de cette dernière, on peut trouver des échantillons de pyrolusite crêtée.

* Au microscope, le passage psilomélane - pyrolusite se fait sans transition, comme en témoignent des études par scanning de la teneur en baryum ou potassium.

F2 - Oxydes de manganèse - Carbonates

On trouve fréquemment des remplacements de carbonates (dolomie ?) par du psilomélane, lui-même pouvant être remplacé à son tour par la pyrolusite. Ces phénomènes se réalisent en conservant très fidèlement les formes losangiques des carbonates.

F3 - Oxydes de fer - Oxydes de manganèse

Indépendamment des phénomènes de passage limonite - goéthite, précédemment évoqués, on observe que la goethite peut remplacer la pyrolusite . On s'en aperçoit à la vue de fibres de goethite ayant conservé la structure caractéristique des cristaux de pyrolusite. A l'intérieur, on y retrouve un coeur témoin d'oxyde de manganèse.

Rappelons aussi l'association goethite-psilomélane, dans des concrétions où la goethite formant le coeur s'est développée antérieurement au psilomélane.

3) DESCRIPTION DU GISEMENT : PRESENTATION DES DIFFERENTS QUARTIERS

A - Introduction

Une description rapide du gisement est complexe, car même si l'on retrouve de nombreux points communs dans les diverses zones d'exploitation, celles-ci se différencient assez nettement. Même à l'intérieur d'une seule zone comme Tighermit, il est difficile d'en déduire des règles générales : de nombreux levés de parements effectués en 1968*, souvent contradictoires, n'avaient pu permettre d'aboutir à des conclusions quant à la morphologie des couches 1 et 2.

Une étude des différentes zones minéralisées est faite d'Est en Ouest, en essayant de mettre chaque fois l'accent sur ce qui différencie ces zones entre elles.

Le tableau suivant donne les principales caractéristiques qui seront décrites. L'étude des différents points communs à l'ensemble du gisement tels que la présence de phénomènes dûs à la circulation des eaux, ou le passage manganèse - fer au Nord de la zone minéralisée, sera reprise ultérieurement dans le chapitre V, afin d'en avoir une idée plus synthétique, et on essaiera de les intégrer dans une vision d'ensemble de la genèse du gîte de l'Imini.

* Remarques sur la genèse du gisement de l'Imini H. PELISSONNIER Mai 1968

	Couche 1 = C1	Couche 2 = C2	Couche 3 = C3	Particularités des différents quartiers
BOU AGGUIOUN	X	X		Localisation différente de C1 et C2 Régularité de C1, C2 et de l'entre-deux ($\geq$ 1,10m) Enrichissements localisés liés à des failles Phénomènes dûs à la circulation des eaux - brèches équivalent latéral des couches - Poches karstiques
SAINTE BARBE TIMKIT	X X	X X	X	Dressant : déformation souple du Cénomano-Turonien, enrichissement et augmentation des couches Présence d'amas minéralisés au dessus de C2 au sein de la dolomie fossilifère Présence d'une salbande argileuse au toit de C2, et d'argiles discordantes au sein de la série minéralisée.
ASSAOUD	X	X		Présence de poches karstiques détruisant la minéralisation en C2
TIGHERMIT	X	X		Irrégularité de C1, C2 et de l'entre-deux (0 à 1,80m) Phénomènes dûs à la circulation des eaux - Altération de l'entre-deux dolomitique - Altération de la dolomie fossilifère du toit - Brèches équivalent latéral des couches - Poches karstiques : formation de brèches karstiques Passage au fer
BOULGIR	X	X	X	Passage au fer de C2
LANTENOIS	Amas minéralisé sous la dolomie fossilifère			Présence d'amas minéralisés surmontés de poches karstiques
Affleurement 5	X	X		Irrégularité de C1 et C2 très remaniées
Affleurement 7			X	Passage au fer de C3

Tableau IV : Présentation des différents quartiers de la mine d'Imini

B - Bou Agguioun

B1 - Situation générale

Bou Agguioun est le prolongement Est du gisement.

L'asif Imini qui coule sur les basaltes du Trias puis sur les schistes de l'Ordovicien, limite cet affleurement cénomano-turonien, au Sud et à l'Ouest, tandis qu'au Nord et à l'Est, il disparaît sous les recouvrements marneux du Sénonien.

Le pendage habituel est de 15° en direction NNE, mais il peut atteindre 30 à 40° localement comme à Zigzaoun.

B2 - Travaux miniers - Production

Ce quartier avait été reconnu de 1935 à 1937, l'attention ayant été attirée par le fait que les couches 1 et 2 se présentent de manière très visible dans la corniche cénomanienne. Repris en 1961-62 et limité à l'Est par des sondages négatifs, on avait alors estimé ses réserves à 45.000 T.

Ce quartier a été mis en exploitation fin 1973, et a produit environ 10.000 T de manganèse de très bonne qualité pour l'année 1974.

B3 - Description de la minéralisation

Un repérage des couches 1 et 2 a été effectué :

- au fond (Puits 9 - Puits 5 et 7 - Galerie de la falaise - Montage 1, maintenant dépilé),
- au jour, en particulier sur la falaise et grâce à quelques tranchées existantes.

Il a permis de faire les observations suivantes :

B3.1 - Localisation des couches 1 et 2 (cf. Fig.8)

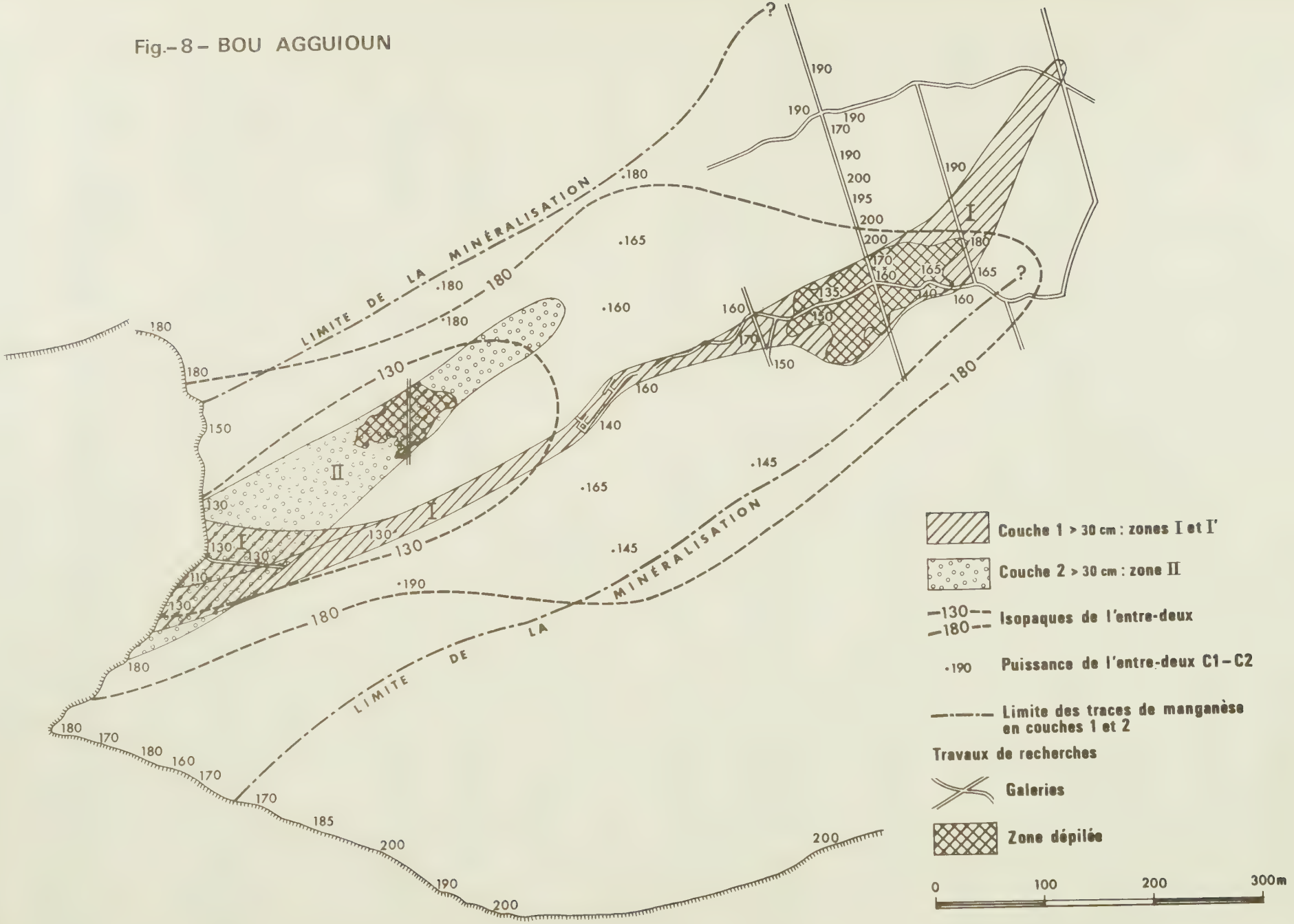
Les zones de puissance maximum des couches 1 et 2 n'ont pas, dans le détail, la même localisation, la couche 2 se situant au Nord de la couche 1. Néanmoins, les traces de manganèse au niveau de ces deux couches disparaissent quasi simultanément au Nord et au Sud.

B3.2 - Régularité et puissance des couches 1 et 2

Les couches 1 et 2 sont très régulières bien que de faible puissance. Sur la falaise, on suit la minéralisation sur environ 300m, perpendiculairement à son axe ENE, avec un seul passage au stérile assez net sur quelques mètres (+ 157), commun aux deux couches.

On peut différencier dans cette zone minéralisée plusieurs zones qui sont d'intérêt variable. Seules celles dont la minéralisation en couche 1 ou 2

Fig.– 8 – BOU AGGUIOUN



est supérieure à 30cm sont exploitables : ce sont les zones I (couche 1) et II dessinées sur la figure 8 auxquelles il faut ajouter une zone plus discutable, dans l'état actuel des connaissances, la zone I' (couche 1).

Elles sont encadrées au Nord et au Sud par des zones marginales, qui pour la couche 2 sont dissymétriques : la zone Nord (70m) est moins importante que la zone Sud (140m). Cette dissymétrie se retrouve au point de vue minéralogie, l'enrichissement en manganèse étant évident lorsque l'on vient du Sud (avec un passage wad-psilomélane à pyrolusite) tandis qu'aucun appauvrissement correspondant au passage au Nord n'est marqué, la pyrolusite restant le principal constituant de la couche 2.

La dissymétrie de cette zonalité est moins évidente pour la couche 1.

B3.3 Nature gréseuse de l'entre-deux dolomitique

L'entre-deux est une dolomie gréseuse reconnaissable à sa couleur rosée, et dont la puissance varie de 1,10m à 1,80m. Son étude particulière a été faite en III-D3 (cf. fig. 4 et 6). Il ne montre pas de signes d'altération excepté quelques bavures de manganèse sous la couche 2.

B3.4 - Enrichissements localisés liés à des failles

Quelques accidents représentés par des failles de rejet peu important (inférieur à 2m) peuvent localement, sur une dizaine de mètres, donner lieu à des augmentations de puissance des couches 1 et 2 : celle-ci peut alors atteindre jusqu'à 1m.

Une étude des directions de ces failles n'a donné aucun résultat quant à une direction préférentielle favorable à un enrichissement (cf. Tableau V).

Cote	Direction / Nord	Pendage	Remarques
- 83	92	35 N	Faille inverse-compartiment Nord surélevé de 15cm
- 80	110	25 N	" " " " " 30cm
- 17	15	50 E	" " " Est " 50cm
- 9	110	35 NE	" " " Nord " 60cm
+ 50	150	38 NE	" " " " " 60cm
+ 58	90	24 S	" " " Sud " 110cm
+290	80	50 NW	" " " Nord " 160cm
+530	74	45 SE	" " " Ouest " 160cm

Tableau V : Caractéristiques des failles affectant le Cénomano-Turonien sur la corniche de Bou Agguioun

Remarque :-Les cotes sont mesurées en mètres à partir de la galerie de la falaise (+ vers le Sud, - vers le Nord)
-Les enrichissements en manganèse les plus notables sont observés aux failles + 50 et + 530.

B3.5 - Phénomènes dûs à la circulation des eaux

Le Cénomano-Turonien a été apparemment peu affecté par la circulation des eaux, si ce n'est en surface où la dolomie montre un aspect cannelé avec des fissures de quelques dizaines de cm de profondeur. Il présente cependant certains phénomènes internes qui peuvent avoir une certaine extension tant horizontale que verticale.

a) Présence de brèches dolomitiques , équivalent latéral des couches (CPE-1)

Elles sont situées en équivalent latéral des couches 1 et 2, à la surface de discontinuité entre l'entre-deux gréseux, et la dolomie fossilifère supérieure ou la dolomie gréseuse inférieure. Le phénomène est bien visible en surface, mais impossible à étudier au fond, les travaux miniers s'arrêtant en limite de minéralisation. Il est particulièrement net sur la corniche dolomitique, pour la couche 2, au Nord de la zone minéralisée, mais on le trouve également au Sud.

Ces brèches se présentent de manière assez continue (20cm de puissance) sur environ 200m d'extension perpendiculairement à l'axe privilégié de la minéralisation, de part et d'autre de cette dernière.

- Description

En lames minces, on observe une brèche, composée de morceaux de dolomicrosparite généralement inférieurs au centimètre dans un ciment de même nature, riche en oxydes de fer. Les nodules dolomitiques témoignent d'un transport faible ou nul : forme assez anguleuse, agencement des nodules propres à une bréchification subenplace. Le ciment contient les détritiques habituels de la série : débris de roches, quartz, feldspath potassique et plagioclase, On trouve de plus des agrégats chloriteux témoins d'une métasomatose ainsi que des phénomènes de nourrissage tardif de silice (calcédoine concrétionné, excroissance de silice sur des grains de quartz).

- Origine

Bien que ce chapitre soit à vocation descriptive, de par le titre, ces brèches ont été attribuées à des phénomènes de remaniements tardifs. La possibilité d'une origine sédimentaire est écartée par l'étude de l'agencement et de la forme des nodules dolomitiques.

L'étude du contact avec la dolomie fossilifère supérieure montre le mécanisme de formation de ces brèches. Il y a fissuration suivie d'effondrement limité à quelques centimètres de nodules de la dolomie fossilifère, puis remaniements et déplacements faibles de ces nodules qui, par altération, perdent alors leur caractéristique macroscopique : disparition des taches rose-brun propres à la dolomie fossilifère.

b) Altération de l'entre-deux gréseux : présence de poches karstiques

L'entre-deux, bien que peu sujet aux phénomènes d'altération, montre des vides dûs à la circulation des eaux. L'un d'entre eux (cote -50 à - 70/ galerie de la falaise) se présente comme deux cavités d'une dizaine de mètres reliées l'une à l'autre ; la cavité Nord montre des formes ressemblant à des chenaux, et des bavures de manganèse sous la couche 2 ; la cavité Sud montre un effondrement d'un bloc métrique de la couche 2 et un remplissage varvé gréso-dolomitique sur ses bordures.

C - Timkit

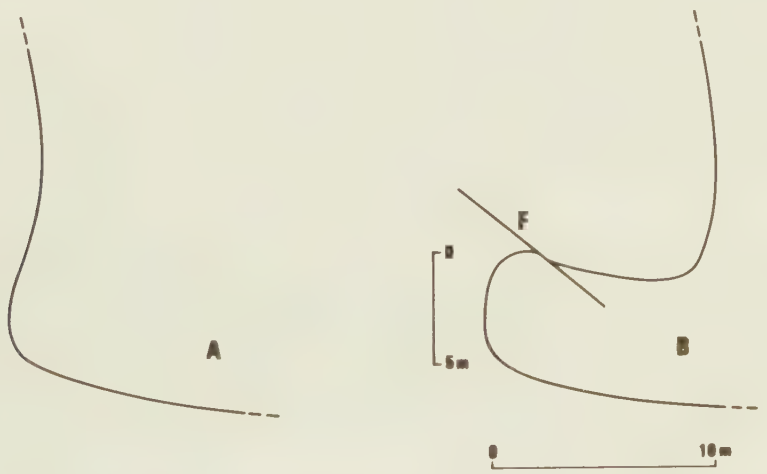
C1 - Situation générale

Timkit est l'un des deux principaux centres d'extraction du minerai, d'où l'on sort actuellement, par le moyen d'une descenderie, le tiers de la production totale. L'exploitation est comprise entre - 70m et la surface : Les couches de manganèse, suivant les déformations du Cénomano-Turonien, se redressent jusqu'à la verticale pour affleurer. C'est ce dressant qui avait attiré l'attention de F. Busset en 1918, et historiquement, ce fut l'un des premiers chantiers à entrer en exploitation.

C2 - Description de la minéralisation

C2.1 - Déformation souple du Cénomano-Turonien

De Timkit jusqu'à Sainte Barbe, le Cénomano-Turonien se redresse brutalement pour donner des chantiers exploités en semi-dressant (galerie 4) ou en dressant. L'allure de cette déformation peut prendre des allures particulières (cf. fig. 9).



A:Cas habituel B:Cas particulier (sec.2)

Fig-9- Coupe schématique du dressant (Timkit)

Il peut y avoir une augmentation de puissance assez importante au genou du dressant, ainsi qu'un enrichissement en pyrolusite. Celle-ci présente des caractéristiques physiques peut-être légèrement différentes du reste du gisement, car son enrichissement en laverie se révèle plus facile.

Fig – 10 – Amas stratiforme de manganèse au sein de la dolomie fossilifère
(Timkit – Sec. 12)

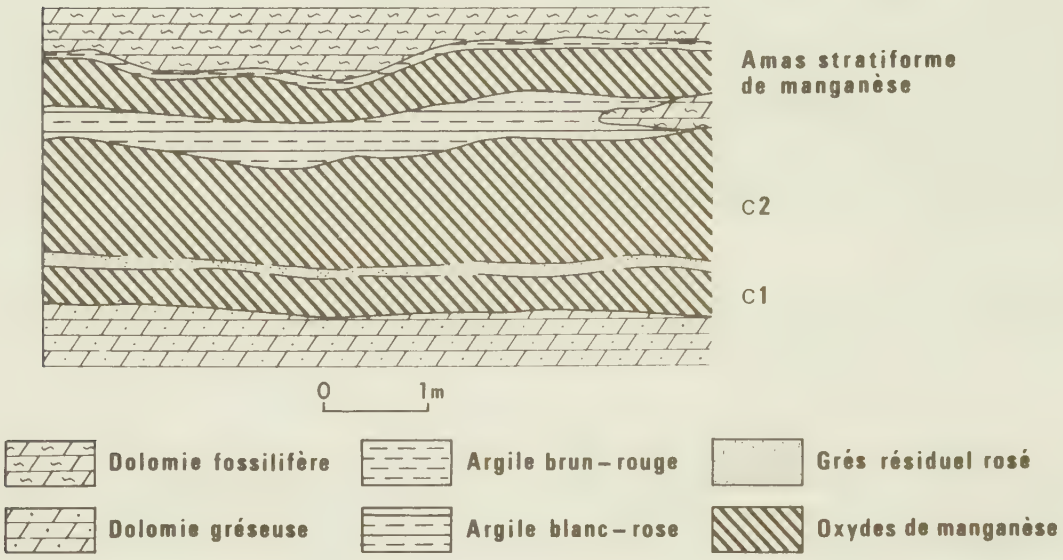
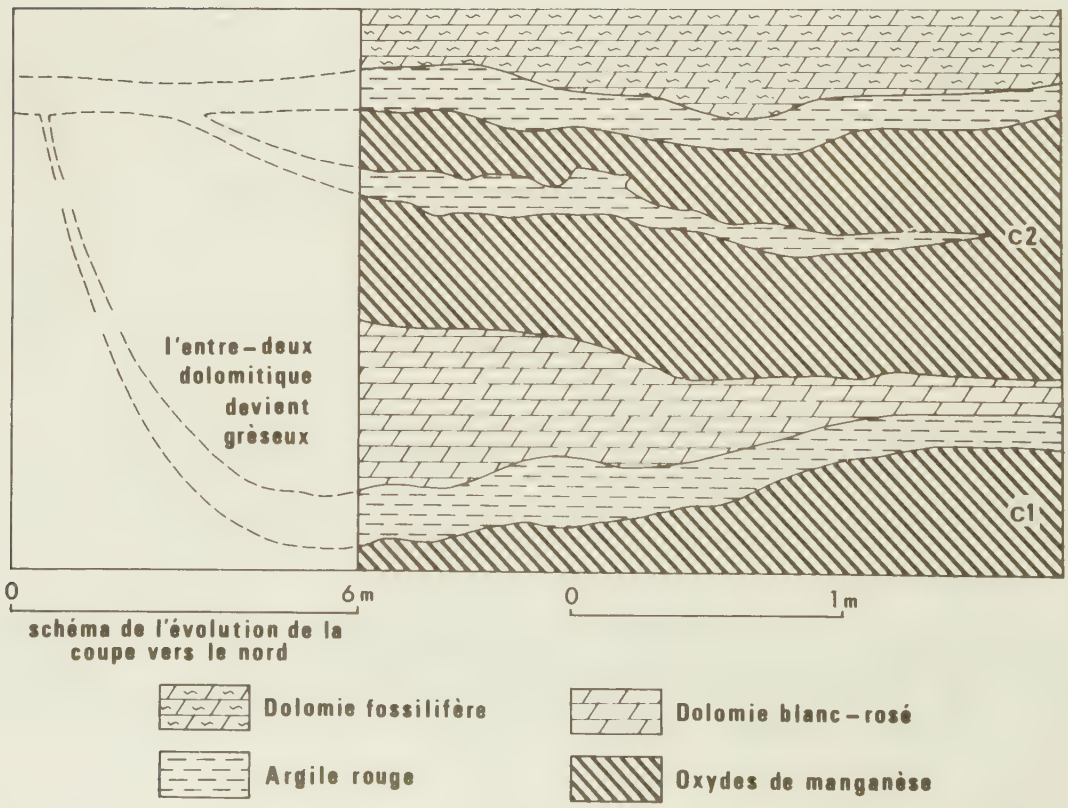


Fig – 11 – Argiles discordantes au sein de la serie minéralisée
(Timkit - Tert. 1)



C2.2 - Présence d'un amas de minerai stratiforme au dessus de la couche 2 au sein de la dolomie fossilifère (figure 10)

En différents quartiers de Timkit (Secondaire 12, TP de reconnaissance à l'Ouest de la descenderie), le manganèse se présente à trois niveaux : les deux niveaux inférieurs, séparés par un mince entre-deux gréseux, sont les couches 1 et 2 habituelles ; la pseudo-couche supérieure est en réalité un amas stratiforme dans la dolomie fossilifère du toit. La dimension de l'amas du Secondaire 12 atteint environ 40m par 30m, la minéralisation étant un mélange de pyrolusite et de wad. Avec une densité moyenne de 3,5 et une puissance de 30cm, cet amas représenterait 1.300 T de manganèse à 70% - 75% de MnO2.

Lorsqu'on étudie plus précisément l'encaissant de cet amas, on constate que le mur est une argile d'allure très particulière : elle est claire à filaments rosés et a une puissance d'environ 30cm ; elle passe latéralement à la dolomie fossilifère qui présente cette même sorte de taches. Au toit, au contraire, on rencontre un mince lit argileux rougeâtre (5cm). Les deux argiles se différencient à l'analyse aux rayons X : ce sont des mélanges kaolinite (dominante) - illite, avec sans doute un peu de chlorite, mais la première argile est bien cristallisée, tandis que la seconde ne l'est pas. Les bordures de ces amas sont des brèches où l'on ne peut guère faire d'observations.

La dolomie fossilifère du toit ne présente aucune trace d'altération.

Notons, en outre, que l'argile, équivalent latéral de la dolomie, contient des morceaux de psilomélanes concrétionnés, présentant souvent une structure pisolithique (alors que les trois niveaux minéralisés ne montrent pas de psilomélane).

C2.3 - Présence d'une salbande argileuse au toit de C2, et d'argiles discordantes au sein de la série minéralisée. (fig C-5 et D-1)

Des argiles rouges, orangées ou beiges, tantôt massives, tantôt varvées, parfois associées à des sables grossiers orangés, forment dans la dolomie fossilifère des filons verticaux ou des cheminées qui s'épanouissent en poches stratoïdes vers le bas au mur de la dolomie fossilifère, constituant une salbande de puissance décimétrique au toit de la couche 2. Plus bas dans la série, on trouve aussi au sein même de la minéralisation des rubans argileux totalement discordants (cf. fig.11).

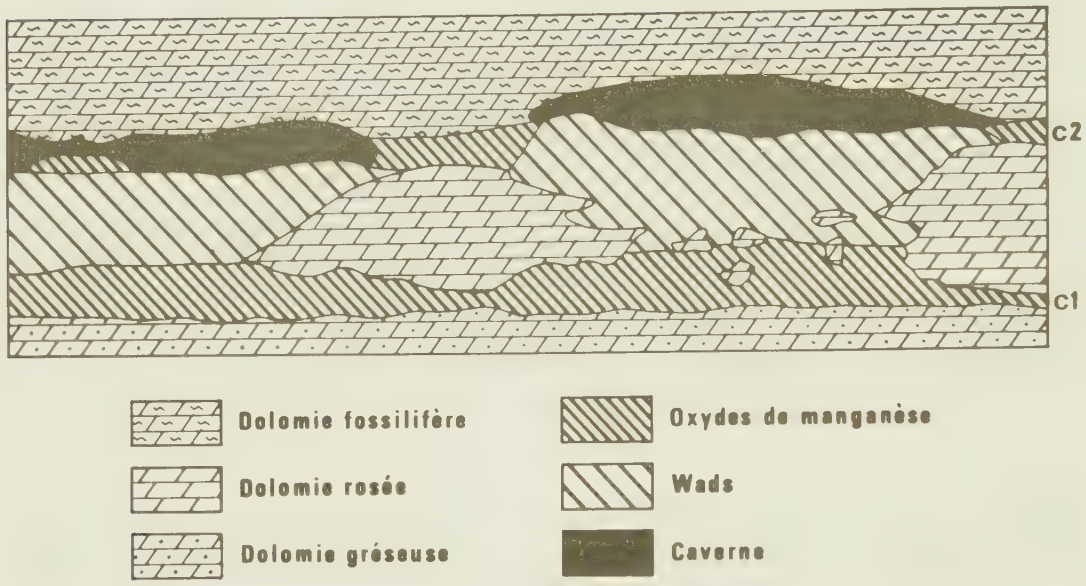
Le litage interne de ces argiles, lorsqu'il est marqué, est toujours subhorizontal, présentant un aspect conforme à la stratification de la série dolomitique, au point qu'elles ont été considérées jusqu'à présent comme faisant partie intégrante de cette série*. A l'analyse ces argiles se révèlent être un mélange de kaolinite et d'illite à kaolinite dominante. Certains des éléments détritiques dans les sables grossiers sont nettement d'origine exogène : éléments du socle, quartz roulés.

D - Assaoud

Ce quartier est en cours de reconnaissance actuellement. Il se singularise par l'allure très irrégulière des couches ainsi que par la présence de poches karstiques de grande dimension horizontale (10 x 10m) mais de faible dimension verticale, qui se développent préférentiellement à partir du contact couche 2 - dolomie fossilifère (cf. fig.12).

* sauf pour H. VINCIENNE (1956) qui envisageait la possibilité de "phénomènes postérieurs de remaniements" pour leur mise en place.

Fig - 12 - Poches karstiques sous la dolomie fossilifère (Assaoud)



La morphologie de la couche 2 a été affectée par la formation de ces poches : sous celles-ci, un remplissage wadeux, très argileux, inexploitable remplace la couche à pyrolusite et psilomélane, qui se trouve ainsi morcelée.

Le toit de ces poches est tapissé par des concrétions centimétriques à wad ou pyrolusite.

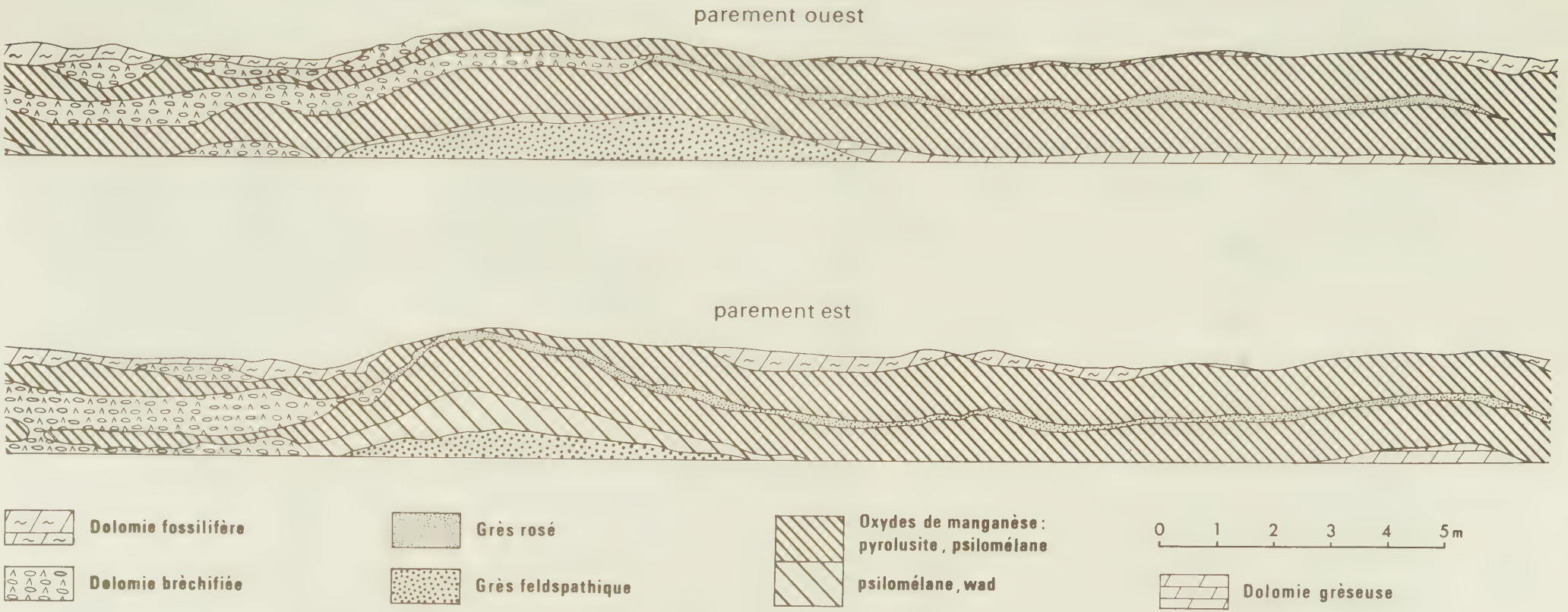
E - Tighermit

E1 - Situation générale

C'est la partie centrale du gisement, reconnue (parce qu'elle était située sur une ligne Timkit - Bou Tazoult où le minerai affleurait) avec un certain retard dû à l'exigence de sondages profonds : le recouvrement de Sénonien est ici le plus important puisqu'il atteint 100-120m.

Entré en activité depuis 6-7 ans, c'est maintenant le principal centre d'exploitation (50 à 60% de la production) avec exploitation des seules couches 1 et 2. Le minerai est sorti par le puits principal à raison d'environ 300T/jour

Fig. – 13 – Relevé des parements de la galerie quaternaire N°15 – tertiaire N°4 (Tighermit) (d'après P.Perly)



E2 - Description de la minéralisation

E2.1 - Irrégularité de C1, C2 et de l'entre-deux

Un repérage des couches 1 et 2 semble maintenant impossible à faire, car il ne concerne plus qu'une petite partie de ce quartier. Aussi, le simple levé d'un parement de galerie (cf. fig.13) donnera la configuration habituelle de la minéralisation dans le gros du gisement. Il montre l'irrégularité des deux couches, et de l'entre-deux à petite échelle.

E2.2 - Phénomènes d'altération

a) Altération de l'entre-deux (cf PE D-2 et 3)

L'entre-deux est de nature très variable :

- Lorsqu'il est d'une puissance non négligeable (> 10cm), il se présente de nature dolomitique, bréchifié ou non : brèches à noyaux dolomitiques et à ciment gréso-dolomitique de couleur variée.
- Lorsqu'il se réduit à quelques centimètres, il est de nature gréso-argileuse et de couleur rosée.

Une altération progressive de cet entre-deux couche 1 - couche 2 a pu être mise en évidence : on passe d'un entre-deux dolomitique assez continu, d'une puissance de l'ordre du mètre à un entre-deux gréseux, d'aspect irrégulier, formé de plusieurs lits filamenteux de quelques centimètres de puissance. Les intermédiaires entre ces deux extrêmes dont des dolomies plus ou moins bréchifiées et altérées (cf. fig.15) ; une étude attentive montre que ces brèches représentent une série continue d'intermédiaires entre la dolomie saine et l'entre-deux gréseux résiduel, l'évolution pouvant se résumer par les étapes suivantes :

1 - dolomie blanche assez souvent gréseuse, peu fissurée, généralement friable ;
2 - dolomie blanche fissurée ou micro-fissurée, avec des joints millimétriques souvent orangés ;
3 - brèche à éléments clairs ou plus ou moins teintés de rouge par des oxydes de fer ; le ciment devient de plus en plus farineux, de couleur allant de l'orangé clair au brun foncé ;
4 - même état que 3, mais apparition entre les éléments de manganèse (pyrolusite et wad essentiellement) ;
5 - le manganèse forme maintenant le ciment de la brèche ; les éléments ont des formes plus floues ; apparition de filaments gréseux rosés en remplacement de la brèche dolomitique ;
6 - on ne voit plus guère d'éléments, le manganèse occupe maintenant presque toute la surface ; un entre-deux filamenteux gréseux rosé de 2 à 15 cm de puissance a remplacé la dolomie.

Toutes ces étapes peuvent se trouver résumées sur une distance de quelques mètres.

En dehors de cette altération dont les étapes successives ont pu être appréhendées par l'étude des passages latéraux, il faut noter très généralement tant dans l'entre-deux dolomitique que dans la dolomie fossilifère du toit des précipitations de couleur saumonée à rouille en forme de halos zonés discordants sur la stratification qui manifestent le déplacement d'oxydes de fer dans la masse de ces dolomies, postérieurement à la diagenèse.

b) Altération de la dolomie fossilifère au toit de la couche 2.

Celle-ci se présente parfois parcourue de fractures centimétriques complètement minéralisées (pyrolusite) dont la plupart semblent se fermer rapidement, leur extension verticale étant inférieure au mètre. Lorsque ces fractures ont eu une importance suffisante, il y a eu création de vides et elles peuvent donner lieu à des phénomènes de basculement et d'effondrement de blocs de dolomie que l'on retrouve alors au sein du manganèse (cf. fig.16).

Fig – 14 – Passage de la couche 2 à une brèche équivalent latéral – Tighermit – Tertiaire 8

(d'après H. Pelissonnier)

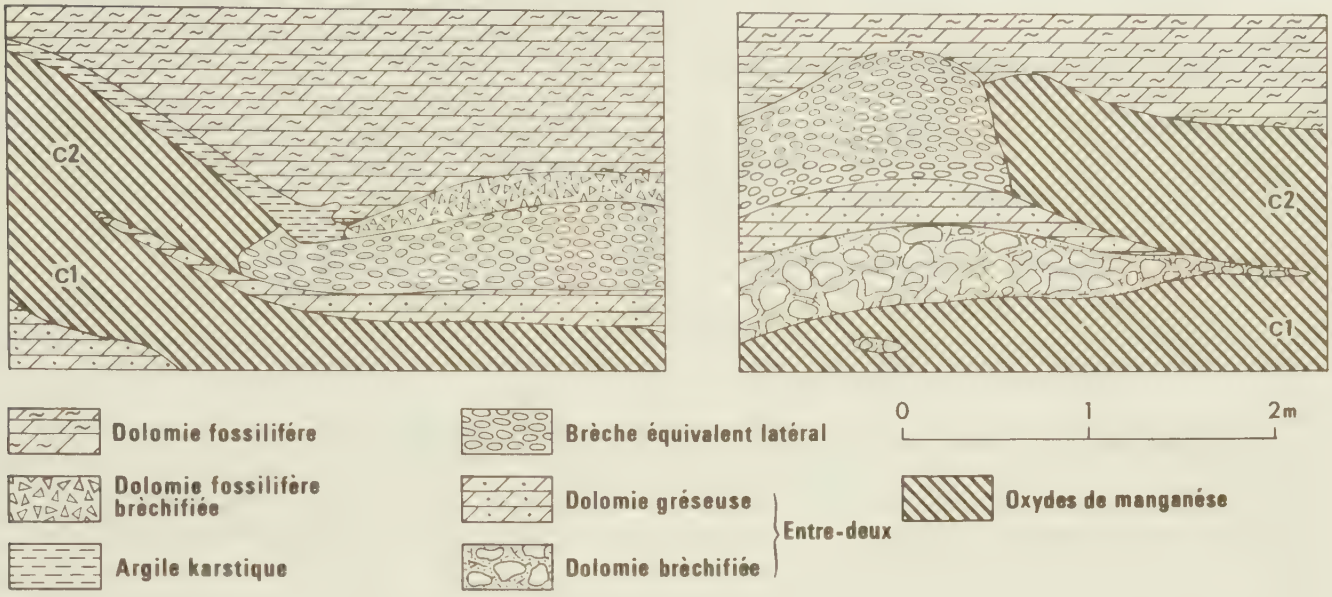


Fig – 15 – Détail du contact de l'entre-deux dolomitique brèchifié avec la couche 2
(Tighermit – Secondaire 5)

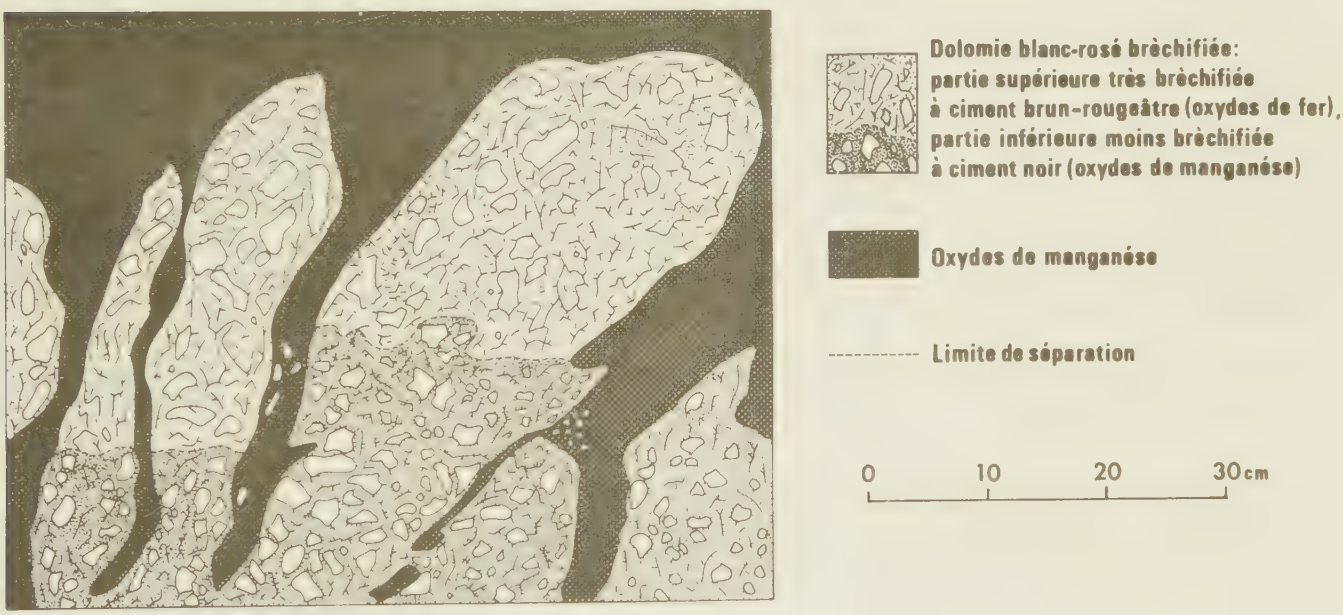
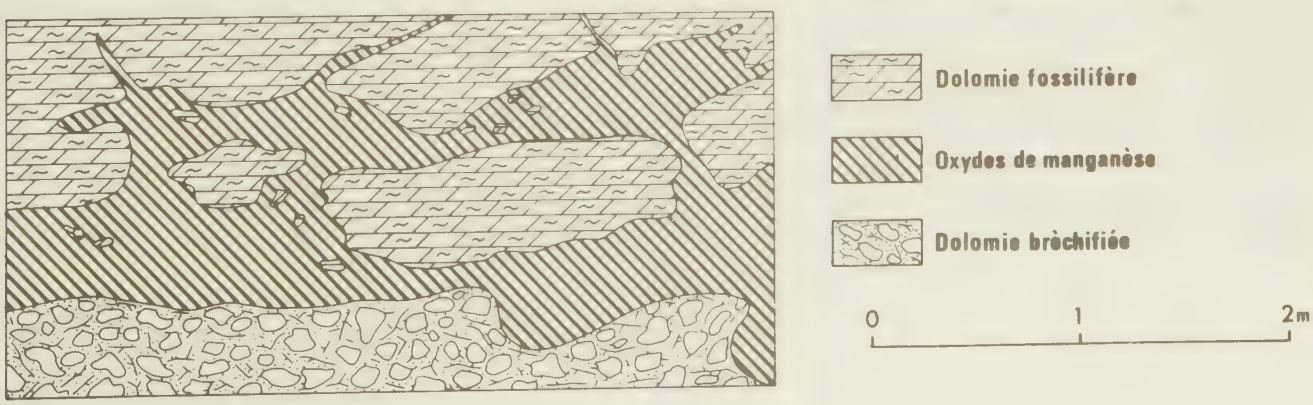


Fig. – 16 – Altération de la dolomie fossilifère au toit de la couche 2 (Tighermit – T1 TP2)



c) Brèches équivalent latéral des couches (cf. fig.14)

On retrouve le même phénomène qu'à Bou Agguioun, avec une brèche à caractéristiques assez différentes. Elle est d'une puissance plus importante atteignant le mètre, qui correspond à celle de la couche au moment de sa disparition; son ciment est noirâtre manganésifère.

Il est difficile actuellement d'avoir une idée de leur localisation spécialement au Nord du gisement puisque le passage du manganèse au fer oblitère l'ensemble des couches et que les traçages ne se prolongent pas dans le stérile.

d) Présence de poches karstiques : formation de brèches karstiques

Ces poches ont un diamètre pouvant atteindre une dizaine de mètres, avec une hauteur de quelques mètres. Elles se développent préférentiellement au contact entre-deux - dolomie fossilifère.

Leur formation et leur remplissage résultent du phénomène d'effondrement - dissolution qui s'ajoute aux procédés habituels d'érosion chimique et mécanique dans un banc carbonaté. Les nombreux blocs de dolomie supérieure, que l'on retrouve dans le remplissage de ces poches, témoignent du premier phénomène, tandis que les seconds apportent un matériel fin, argilo-gréseux.

Il y a ainsi formation de brèches karstiques : aux différentes intensités de circulation latérale des eaux, correspond un dépôt de matériel plus ou moins fin. Les dépots argileux consécutifs à une vitesse des eaux faible, se présentent souvent varvés, montrant des fissures dûes aussi bien à la dessiccation qu'à la compaction précoce ; on y observe aussi des surfaces d'érosion avec reprise par un matériel plus gréseux correspondant à un régime des eaux plus brutal. Il peut succéder à cette arrivée latérale des venues verticales du fait de l'altération de la dolomie du toit, en nodules de quelques centimètres, souvent assez arrondis, qui chutent sur les lits argilo-gréseux en les déformant plus ou moins.

Des poches, mettant en évidence ce procédé de formation, continuent à se former de nos jours : On peut ainsi voir tomber des nodules dolomitiques sur un fond argileux, encore humide, présentant des muddlecracks en formation.

Il est à remarquer qu'aucune minéralisation n'est généralement directement liée à ces poches.

E2.3 - Passage manganèse-fer au Nord du gisement

Celui-ci est brutal puisque la zone de transition se réduit à une dizaine de mètres. Il présente deux aspects bien différents :

- d'une part, le manganèse passe aux oxydes de fer (goethite, hématite), les deux se trouvant fréquemment mêlés, car la transition brutale n'implique pas une séparation nette, mais simplement un changement rapide de l'élément prépondérant.

  La couche 1 et la couche 2 passent quasiment ensemble au fer avec un léger décalage : généralement, le manganèse passe au fer en couche 1 de quelques mètres à 10 mètres au Nord du passage manganèse-fer de la couche 2.

- D'autre part, la dolomie de l'entre-deux est plus ou moins altérée, chargée en oxydes de fer, et prenant une couleur rosée. Cette altération n'affecte pas la taille des cristaux de dolomie qui correspond toujours à une dolomicrosparite.

E2.4 - Autres sujets d'étude

Certains sujets n'ont pu donner lieu à des observations complètes du fait qu'ils correspondent à des zones dépilées ou insuffisamment reconnues.

a) Présence d'une zone hypersiliceuse

Signalée sur les anciennes cartes, au Sud du TP2, c'était une zone à puissance minéralisée importante (environ 2m, l'entre-deux étant de faible puissance), mais à faible teneur (psilomélanes, wads). Ceci est contraire à la majorité des observations : à une forte puissance correspond normalement une teneur acceptable (sauf pour les petits gîtes de l'Ouest, cf.G)

b) Passage au stérile vers le Sud

Les seuls chantiers ouverts actuellement (Allongement n°2) montrent une minéralisation très irrégulière au point de vue puissance et teneur.

Entre le secondaire 4 et le secondaire 8, la limite Sud présente un appauvrissement net des deux couches en pyrolusite qui est remplacée par du psilomélane; la psilomélane pauvre est souvent appelé gravette par les mineurs.

En certains endroits, se développe localement une brèche à psilomélane en forme de protubérance au toit de la couche 2 sous un chapeau d'argile rouge dans la dolomie fossilifère ; le ciment est constitué également de psilomélane concrétionnée laissant place à de larges vides : la brèche prend alors un aspect scoriacé caractéristique.

c) Poches dolomitiques stériles au coeur du minerai

Ces poches posent toujours un problème à l'exploitant du fait qu'elles ne sont pas prévisibles et que l'on peut passer en quelques mètres d'une puissance de 2m à l'absence totale de minéralisation. Elles peuvent avoir une taille importante (environ 100 x 100m, pour une poche située entre le secondaire 4 et le secondaire 8). L'étude du contact n'apporte aucun résultat : le passage latéral est brusque sans montrer certains caractères qui pourraient permettre de déterminer la présence de paléo-creux ou de paléo-bosses par exemple.

F - Boulgir

Ce quartier a été abandonné depuis près de 10 ans. Il est cependant possible de faire des observations locales intéressantes concernant le passage au fer, bien qu'il ne se prête plus à une étude d'ensemble.

Le manganèse est présent de manière assez discontinue au niveau des trois couches, qui subissent toutes un passage au fer au Nord :

Pour les couches 1 et 2, il est visible dans des galeries percées à flanc dans la partie Nord de Boulgir plateau.

Pour la couche 3, il est visible dans les nombreuses tranchées situées sur la gara de Boulgir plateau.

Les figures 17 et 18 représentent deux aspects de ce passage : le fer se trouve au sein du manganèse, occupant une place quelconque dans la couche minéralisée, et ayant un contour très irrégulier.

Fig.17–18 "Passage au fer" de la couche 2 – Boulgir Plateau

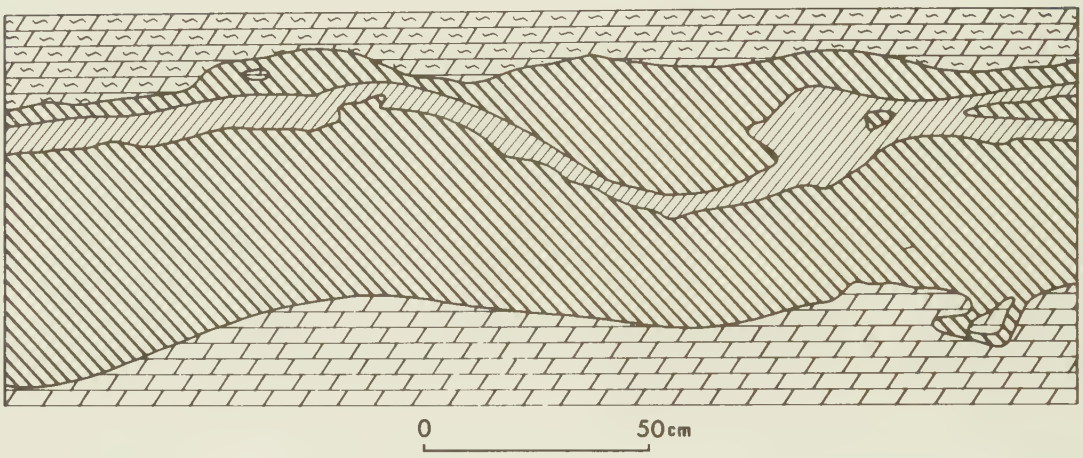
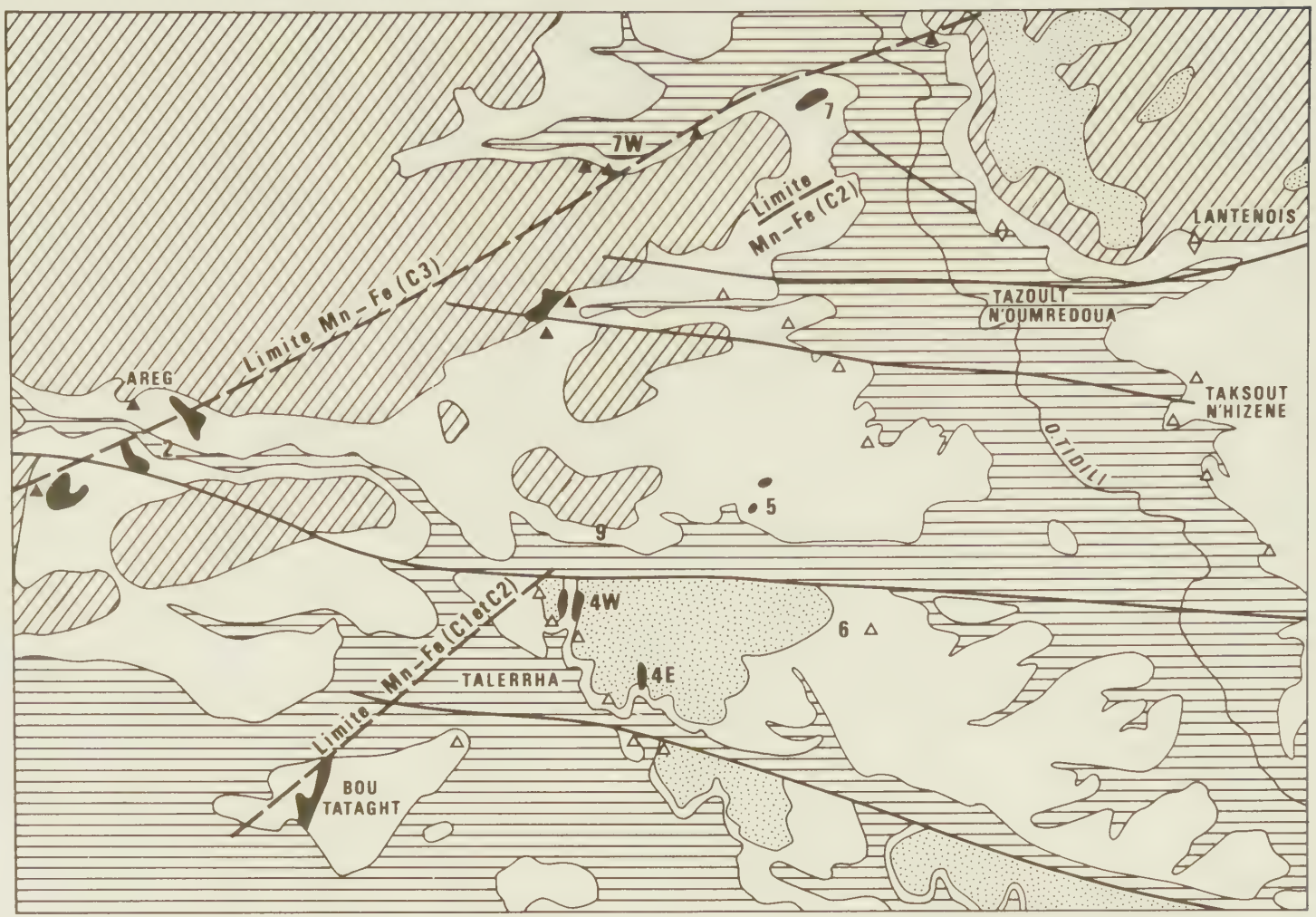


Fig – 19 – Minéralisation à l'ouest d'Imini – (Carte géologique d'après G. POUIT)



G - Chantiers situés à l'Ouest du gisement d'Imini

G1 - Présentation générale (cf. fig.19)

A l'Ouest de Bou Tazoult, le Cénomano-Turonien est subaffleurant et on trouve donc à faible profondeur de nombreuses occurrences de manganèse. Actuellement, celles-ci n'ont qu'un intérêt économique restreint du fait qu'elles représentent au point de vue tonnage assez peu de chose et que la qualité du minerai est le plus souvent médiocre. Comme s'y ajoutent des difficultés d'accès, la SACEM fait exploiter ces différents chantiers par tacheronnage.

Il est possible de classer ces différents chantiers suivant les couches exploitées ; on différenciera ainsi les chantiers en couches 1 et 2 (Type 1) des chantiers en couche 3 (Type 2). S'y ajoutera un dernier type (Type 3) représenté par des amas dont le toit est la dolomie fossilifère et pour lequel l'emploi du terme "couche" serait abusif.

Cette classification (Tableau VI) présente l'avantage de séparer des chantiers qui sont très dissemblables tant par l'allure de la minéralisation que par sa nature.

	TYPE 1	TYPE 2	TYPE 3
Dénomination des différents affleurements avec une estimation des tonnages respectifs - en tonnes de minerai marchand -	Affleurement 4W Affleurement 4E Affleurement 5 (20.000 T) Affleurement 6 (couche 1 seulmt) Affleurement 9 Gara Bou Tataght (8.000 T)	Affleurement 2 - Areg Affleurement 7W Affleurement 7 (15.000 T)	Galerie Lantenois (12.000 T) Galeries Tazoult N'Oumredoua

Tableau VI : Classification des occurrences de manganèse situées à l'Ouest du gisement d'Imini

G2 - Affleurement 5

Cet affleurement était gardé en attente depuis une campagne de sondages, réalisée il y a une quinzaine d'années et qui avait mis en évidence une lentille principale représentant 12.000 T de minerai. Il a été repris récemment (1974) et ses réserves sont sans doute plus importantes (20.000 T ?).

Fig. – 20 – Affleurement 5 (d après T. Durand)

C'est le type de chantier à position stratigraphique de la minéralisation régulière à grande échelle ; cela justifie l'emploi des termes : couche 1 - couche 2. Cette minéralisation montre cependant à petite échelle une extrême irrégularité dans ses contours, irrégularité visible aussi dans la localisation des couches (cf. fig.20).

Ces couches sont affectées de nombreux phénomènes karstiques qui se traduisent par un aspect très remanié, avec présence d'argile brunâtre mélangée au minerai. Celui-ci est pauvre (psilomélane parcouru par quelques veinules de pyrolusite) avec une différenciation entre les deux couches, la couche 2 étant la plus riche. Cette faible teneur du minerai n'exclut pas une puissance importante qui atteint 2m dans la lentille Sud.

G3 - Affleurement 7

Cet affleurement avait été abandonné après qu'une campagne de résistivité n'ait décelé que quelques plaques de minerai riches en fer. Des sondages récents, positifs, ont entraîné une mise en exploitation (1974) consécutive à la découverte d'un certain tonnage (15.000 T) : c'est actuellement le seul endroit où la couche 3 soit exploitée. Cette couche est très irrégulière et d'assez faible extension latérale.

Au Nord, il y a passage du manganèse au fer . Des concrétions irrégulières d'hématites brunes et rouges, souvent d'aspect scoriacé, quelquefois cristallisées en belles gerbes de goethite, parfois stalactiformes, apparaissent en bordure nord de la minéralisation manganésifère et relaient celle-ci sur une distance de plusieurs dizaines de mètres transversalement à l'axe privilégié du gisement, avec une puissance qui peut atteindre le mètre (cf. fig.21). Ce passage au fer se retrouve de l'autre côté de l'Oued Tidili, en prolongement de la zone minéralisée.

G4 - Galerie Lantenois

G4.1 - Situation générale

Le secteur de la galerie Lantenois est constitué par un affleurement du Cénomanien limité au Nord, à l'Est et au Sud, par des recouvrements de Sénonien marneux, tandis qu'à l'Ouest, la corniche dolomitique surplombe le lit du Tidili qui coule sur le socle Précambrien.

Le Cénomanien-Turonien qui repose par l'intermédiaire de marnes rouges peu indurées sur le socle, a été érodé suivant un axe Est-Ouest par un affleurement du Tidili. Une faille, ayant quasiment le même tracé, y marque le contact du granite au Nord avec les rhyolithes au Sud ; elle décale vers le bas le compartiment Sud d'une dizaine de mètres.

G4.2 - Minéralisation

a) Travaux réalisés

Dès 1938, avaient été tracées 3 attaques à partir des indices les plus favorables de la falaise du compartiment Nord. Le secteur fut ensuite repris au cours de différentes petites campagnes de sondage au wagon-drill - avec quelques puits de vérification - (1953, 54, 1961) puis laissé en réserve vu la situation à l'écart du gros du gisement, le faible tonnage estimé (12.000 T à 40% de Mn), et l'irrégularité de la minéralisation.

Fig – 21 – Passage manganèse – fer (affleurement 7)
(d'aprés A.Belmezouar)

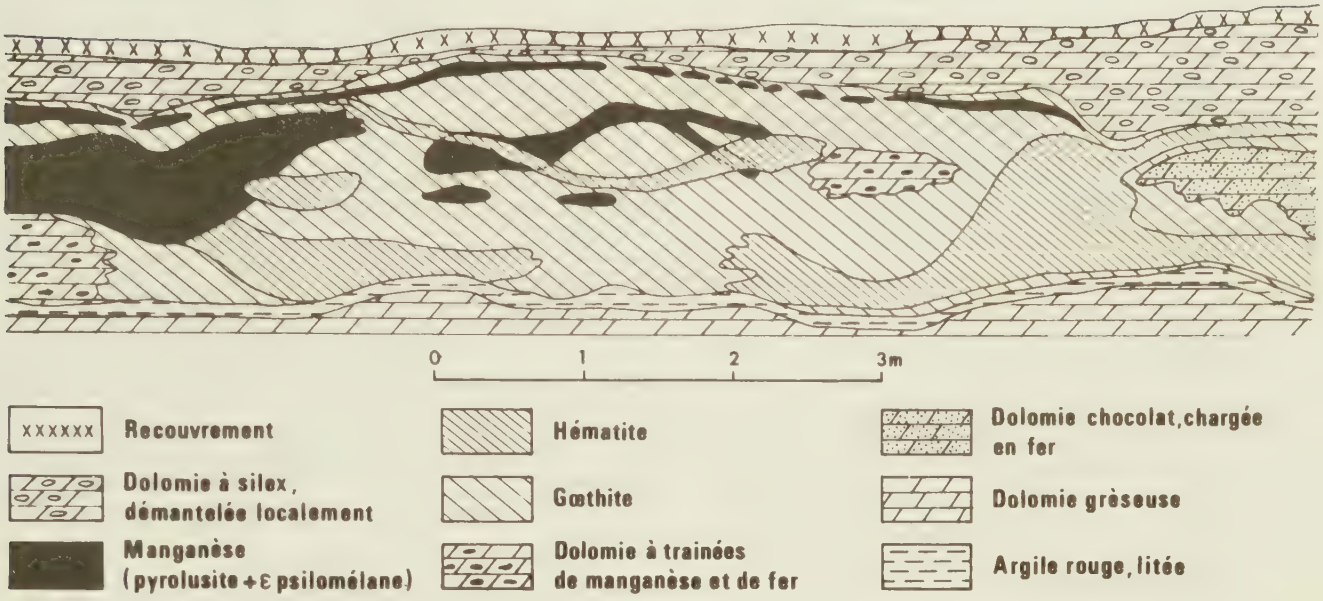
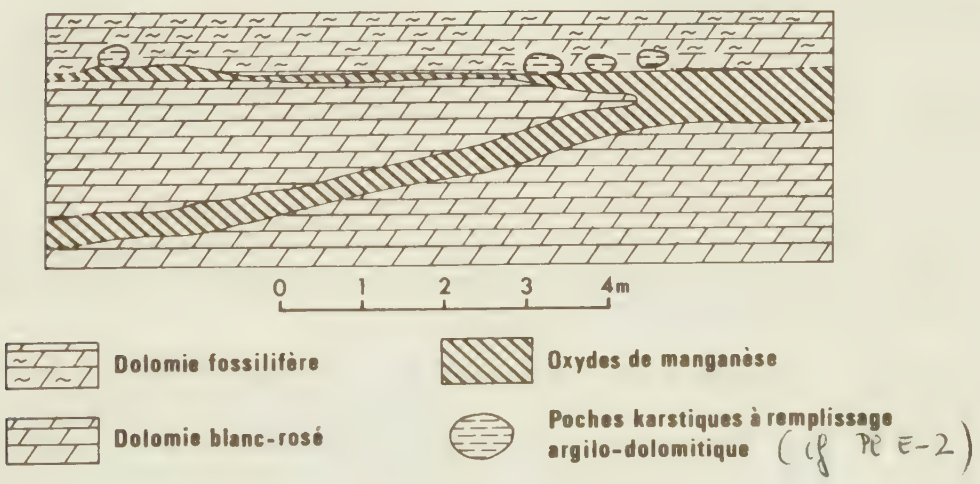


Fig – 22 – Phénomène de ramification d'une poche minéralisée (Lantenois)



b) Description de la minéralisation

Sur la falaise Sud, la minéralisation n'apparait qu'en deux endroits, où ont été effectués deux petits grattages. Sur la falaise Nord, au contraire, elle est visible, de manière discontinue, sur environ 750m en direction Est-Ouest.

Elle se présente comme une suite de poches dont le toit est toujours la dolomie fossilifère. Une quinzaine ont été dénombrées, dont l'une représentée en partie par la figure 22. Elles atteignent jusqu'à 1,5m de hauteur pour 10 à 15m d'extension Est-Ouest, l'extension Nord-Sud étant vraisemblablement comparable au vu de la seule galerie tracée qui recoupe 2 lentilles de minerai, l'une sur 13m, l'autre sur 7m. Les limites de ces poches sont très franches.

Un mince ruban de manganèse (1-2cm) situé à la base de la dolomie fossilifère relie de manière assez continue les unes aux autres.

Il y a souvent à leur toit un mince lit argileux (galerie Lantenois) et elles sont presque toujours surmontées de poches karstiques très caractéristiques de faible extension verticale (40-50cm) relativement à leur extension horizontale. Leur remplissage, varvé, sujet aux phénomènes sédimentaires habituels est de nature argilo-dolomitique, très fin, avec des passées plus détritiques parfois accompagnées de petits galets de dolomie fossilifère du toit dont la taille n'excède pas 1 à 2 cm. Il montre un peu de manganèse, déposé préferentiellement suivant certains lits correspondant souvent à des niveaux de ravinement : il est sous forme de petits filaments millimétriques wadeux, ou de petits nodules de pyrolusite.

La minéralisation se présente comme un mélange de psilomélane assez wadeux et de pyrolusite. Cette dernière est sous forme de petits filonnets d'1 à 2mm qui dessinent une sorte de maille à éléments de quelques centimètres de côté. Ce mélange a inévitablement une teneur assez faible de l'ordre de 65 à 70% en MnO_2, avec des teneurs en silice (6,5%), en plomb (2%), et en fer (0,6%) non négligeables.

H - Autres observations

Certaines parties du gisement n'ont pu donner lieu à des observations du fait qu'elles correspondent à des zones dépilées d'accès impossible, ou à des quartiers définitivement fermés.

En particulier, ceci a rendu les observations faites sur la couche 3 assez fragmentaires, car dans les archives on a peu de données précises sur la morphologie de cette couche dans les quartiers de Sainte-Barbe, Boulgir, Amergo, et Tifersine, précédemment exploités.

Pour les couches 1 et 2, les deux principaux centres de Timkit et Tighermit permettent des observations diverses et complètes. Il convient de signaler cependant une observation supplémentaire, faite à Bou Azzer, relative à la limite Sud de la minéralisation, dont on n'a pu retrouver l'équivalent ailleurs :

La faille de Bou Azzer, qui décale la série de quelques mètres, était bordée vers le Sud-Est par un canal ou "fleuve" sinueux et étroit de manganèse de quelques dizaines de mètres, qui rejoignait le gîte principal.

4) ZONALITE DU GISEMENT

A - Introduction

La zonalité du gisement de l'Imini a toujours posé un problème aux géologues. Dans un gisement, où l'on manquait de guide géologique, c'était une voie de recherches intéressante, mais les difficultés provenant d'une part de la morphologie irrégulière des couches, d'autre part de l'extension du gîte, n'ont pas rendu possible une étude de zonalité à l'échelle du gisement.

B - Données générales

Dans la description du gisement par quartiers, nous avons mis l'accent sur deux phénomènes de zonalité :

B1 - Le passage d'une couche d'oxydes de manganèse à des oxydes de fer au Nord du gisement.

Ceci se vérifie, quelque soit la couche en question et sa profondeur actuelle.

B2 - Le passage psilomélane - pyrolusite du Sud vers le Nord

qui, bien que beaucoup moins tranché que le précédent - car les deux oxydes se trouvent le plus souvent associés l'un à l'autre - se constate à grande échelle. Le contact au Sud du psilomélane avec le stérile, denteliforme, est aussi à opposer au contact Nord pyrolusite - stérile, qui est très tranché.

C - Une étude précise : zonalité du quartier de Bou Azzer

(G. Jouravsky et G. Pouit)

C'est la seule étude précise de zonalité réalisée à Imini. Elle a été effectuée dans le quartier de Bou Azzer (entre Bou-Tazoult et Tighermit) pour le minerai des couches 1 et 2, avec des analyses en manganèse, MnO_2, plomb et fer. Elle prête à discussion, comme l'avaient reconnu ses auteurs, car elle ne sépare pas les profils géochimiques des 2 couches. Cependant, ces couches ayant approximativement même limite, et "l'entre-deux se présentant sous forme d'un cordon continu et mince, constitué de dolomie pratiquement sans manganèse ou de grès", ils avaient considéré les deux couches "comme une seule formation dont la sédimentation était déterminée par les mêmes conditions paléogéographiques".

Les résultats de cette étude étaient les suivants :

- "Une bande étroite et irrégulière fortement enrichie en fer suit les limites Nord des couches minéralisées... L'existence d'une zone riche en fer au Sud n'est pas démontrée... malgré la présence d'un enrichissement en fer important, mais local, à l'extrémité Sud d'une des galeries... En dehors des zones marginales, les teneurs des minerais de fer sont très stables.

- Il existe une certaine zonalité symétrique dans la répartition du plomb, mais la symétrie est très imparfaite, la zone enrichie du Sud étant beaucoup plus large que celle de la zone Nord.

- La répartition du manganèse bivalent est analogue à celle du plomb et présente une même zonalité... Le manganèse bivalent et le plomb étant concentrés dans les minéraux du groupe des psilomélanes, cette zonalité géochimique reflète la répartition zonaire des psilomélanes et de la pyrolusite."

Ces conclusions recoupent les observations générales précédentes sauf pour ce qui est de l'existence d'une zone Nord enrichie en psilomélane. Ce point est d'ailleurs sujet à discussion au vu des graphes réalisés par Messieurs Jouravsky et Pouit : il n'y a qu'une galerie sur les 7 étudiées qui le montre nettement.

V - METALLOGENIE

1) IMPORTANCE DES PHENOMENES SECONDAIRES DUS A L'ACTION DES EAUX SUPERFICIELLES DANS LE GISEMENT DE L'IMINI

2) CONCLUSION A L'ETUDE DE LA MINERALISATION : HYPOTHESES SUR LA NATURE DU MINERAI PRIMAIRE DU GISEMENT

A - Rappel bibliographique

B - Hypothèses sur le gisement d'Imini

- B1 - La Pyrolusite
- B2 - La Psilomélane
- B3 - Hypothèses sur la zonalité du gisement
- B4 - La Lithiophorite

3) CONCLUSION A L'ETUDE DU CENOMANO-TURONIEN : HYPOTHESES SUR LE MODE DE FORMATION DU GISEMENT

A - Paléogéographie du bassin de l'Imini au Cénomano-Turonien

B - Hypothèses sur le gisement d'Imini

- B1 - Localisation du gisement
- B2 - Mécanisme de dépôt du manganèse
- B3 - Origine du manganèse

V - METALLOGENIE

1) IMPORTANCE DES PHENOMENES SECONDAIRES DUS A L'ACTION DES EAUX SUPERFICIELLES DANS LE GISEMENT DE L'IMINI

Dans la description des différentes parties du gisement (IV-3) ont été présentées successivement de nombreuses observations ; nous en donnerons ici une vue synthétique en rassemblant les différents phénomènes observés selon leur position stratigraphique.

De haut en bas de la série dolomitique, on a donc décrit les phénomènes suivants :

- dans la dolomie fossilifère, il y a présence de nombreuses poches à remplissages variés (cf. Planche C-5 et Planche D-1). On observe ainsi des brèches, dont le ciment est aussi bien gréseux qu'argileux ou dolomitique. Les éléments proviennent le plus souvent de la dolomie encaissante et n'ont effectué qu'un faible déplacement. Cependant, on rencontre aussi des silex (provenant du banc de dolomie à silex, situé au sommet de la série) ainsi que des éléments du socle qui montrent la possibilité d'un apport de matériel détritique exogène.

  Certaines fois, ces vides n'ont pas été remplis, et laissent apparaître des fissures à ouverture étroite (< 50cm) mais d'extension verticale importante (plusieurs mètres).

- Au contact de la dolomie fossilifère et de la couche 2, il y a très fréquemment présence d'une salbande argileuse (kaolinite et illite) - de quelques cm a 50 cm d'épaisseur - qui se rattache parfois par continuité aux poches évoquées au paragraphe précédent (cf. Planche C-5 et Planche D-1).

  En outre, à ce niveau, se sont formées de très nombreuses cavités, plus ou moins anastomosées entre elles, de faible extension verticale mais d'extension horizontale importante. Elles sont souvent vides (Assaoud ; cf. fig.12) ou montrent un remplissage parfois rubané (Lantenois ; cf. fig.22, Planche E-2).

- Au niveau de l'entre-deux dolomitique, on observe de nombreux phénomènes de bréchification, faisant passer en continuité d'un entre-deux dolomitique inaltéré, d'une puissance de l'ordre du mètre, à un entre-deux gréseux rougeâtre centimétrique. Le processus de cette altération progressive de l'entre-deux, a été décrit à propos du quartier de Tighermit (page 54) et on en a donné de nombreuses illustrations (cf.fig.13 et 15 ; Planche C-5, Planche D-2 et 3).

Ces différents phénomènes convergent pour démontrer que les roches encaissantes de la minéralisation ont été soumises à des actions d'altération qui ont pris une grande importance au niveau du gisement ; il est à noter qu'elles n'ont eu cependant que peu de répercussions visibles en dehors de la zone minéralisée, si ce n'est à sa limite où nous avons décrit la formation de brèches, équivalent latéral des couches de manganèse dûes toujours aux mêmes phénomènes de circulations d'eaux (ces brèches ont été décrites à Bou Agguioun, page 48 et Planche E-1 ; et à Tighermit, cf. fig.14).

Il s'est donc développé un régime karstique important, dans le Cénomano-Turonien, lié à des circulations aussi bien verticales qu'horizontales Ceci paraît logique dans le contexte géologique : d'une part, le Cénomano-Turonien, reposant le plus souvent sur des grès argileux, et recouvert par une formation alternée d'argilites, marnes et évaporites du Sénonien, constitue un horizon perméable privilégié ; d'autre part, plusieurs émersions se sont succédées à différentes époques, en particulier dès la fin du Cénomanien (cf. III D1) ; aussi peut-on penser que l'intervalle de temps entre le Cénomanien et le Sénonien est l'époque la plus probable pendant laquelle ont pu se développer ces phénomènes karstiques. Remarquons cependant qu'ils continuent à se développer de nos jours, y compris sous le recouvrement de Sénonien (observation faite à Tighermit, cf. page 56)).

Nous rassemblons donc, dans le cadre d'une même explication, différentes observations, qui jusqu'à maintenant, étaient interprétées de différentes manières. Plus précisément, si l'on attribuait déjà une origine karstique aux divers remplissages de poches et aux nombreuses cavités observées, on ne faisait pas de même pour la salbande argileuse du toît de la couche 2, les brèches de l'entre-deux et les brèches équivalent-latéral des couches, qui étaient interprétées implicitement comme d'origine syn - sédimentaire.

Nous venons de montrer l'importance prise par les phénomènes d'altération de la série cénomano-turonienne, en particulier dans les niveaux encaissants de la minéralisation (dolomie fossilifère du toît de la couche 2, et entre-deux entre les couches 1 et 2).

Les relations entre ces phénomènes et la minéralisation sont, eux, beaucoup plus complexes. Par exemple, au toit de la couche 2, l'étude du contact entre la minéralisation et la salbande argileuse du toit, ne permet pas d'établir des relations d'antériorité-postériorité nettes, du fait que ces argiles sont le plus souvent colorées en noir.

Rappelons cependant que certaines observations, telles celles de la figure 11, montrent des rubans argileux rougeâtres sécants sur la minéralisation. Le minerai ne montrant pas des déformations au contact de ces rubans, la postériorité du minerai, sous sa forme actuelle, est ainsi démontrée, par rapport aux phénomènes d'altération auxquels est liée l'argile.

Ce genre d'observations nous permet de conclure que la minéralisation elle-même a été remaniée par les phénomènes d'altération.

2) CONCLUSION A L'ETUDE DE LA MINERALISATION : HYPOTHESES SUR LA NATURE DU MINERAI PRIMAIRE DU GISEMENT

Il a paru interessant, compte tenu de l'importance des phénomènes de circulation d'eau décrits précédemment, de faire un rappel des conséquences qu'ils pouvaient avoir au point de vue minéralogie.

A - Rappel bibliographique (d'après O.P. BRICKER, 1965)

La Pyrolusite et la cryptomélane qui ont le degré d'oxydation du manganèse le plus élevé (Mn 4+) sont les phases les plus stables sous conditions oxydantes - la cryptomélane étant la plus stable lorsqu'il y a forte concentration de potassium dans les eaux superficielles. Ils sont donc l'aboutissement normal de l'oxydation supergène des différents minerais de manganèse, avec parfois, si le gradient d'oxydation n'est pas trop fort, des phases intermédiaires qui sont essentiellement la nsutite, la birnessite et la manganite.

Le tableau VII (Supriya Roy, 1968) montre les différentes associations minéralogiques observées dans diverses mines de manganèse.

Notons que l'altération peut être d'une certaine extension verticale (50 à 100 m aux Minas Gerais) ; cela n'empêche que la distance de transport du manganèse en solution du dépôt primaire au dépôt secondaire est réduite, en raison de la faible solubilité du manganèse sous forme d'oxydes - surtout lorsqu'il est tétravalent.

DEPOSITS	MINERALOGY
1 MINAS GERAIS, BRAZIL (HOREN, 1953, MARVIN AND ZWICKER IN BRICKER, 1965)	RHODOCHROSITE ($MnCO_3$) → HAUSMANNITE (Mn_3O_4) → MANGANITE (γ-MnOOH) → BIRNESSITE (δ-MnO_2) AND CRYPTOMELANE & PYROLUSITE ← NSUTITE (γ-MnO_2) (K-MnO_2) (β-MnO_2)
2 MOANDA, GABON AFRICA, (BAUD, 1956)	RHODOCHROSITE ($MnCO_3$) → MANGANITE (γ-MnOOH) → PYROLUSITE (β-MnO_2)
3 PHILIPSBURG, MONTANA, U.S.A. (LARSON, 1962, PRINZ, 1967)	RHODOCHROSITE ($MnCO_3$) → MANGANITE (γ-MnOOH) → BIRNESSITE (δ-MnO_2) → NSUTITE (γ-MnO_2) → PYROLUSITE AND CRYPTOMELANE (β-MnO_2) (α-MnO_2) TODOROKITE IS ALSO PRESENT IN OXIDISED ORE. CHALCOPHANITE AND HETAEROLITE FORMED AS SUPERGENE OXIDATION PRODUCT OF SPHALERITE - BEARING MANGANESE CARBONATE (RHODOCHROSITE AND MANGANOAN DOLOMITE.)
4 BUTTE MONTANA U.S.A (ALLSMAN, 1956, FLEISCHER, RICHMOND AND EVANS, 1962)	RHODOCHROSITE ($MnCO_3$) → NSUTITE (γ-MnO_2) → PYROLUSITE (β-MnO_2) AND CRYPTOMELANE (α-MnO_2)
5 PIEDRAS NEGRAS MEXICO (ZWICKER IN BRICKER, 1965)	RHODOCHROSITE ($MnCO_3$) → BIRNESSITE (δ-MnO_2) → NSUTITE (γ-MnO_2) → PYROLUSITE (β-MnO_2) AND CRYPTOMELANE (α-MnO_2)
6 GHANA, AFRICA (SOREM AND CAMERON, 1960. ZWICKER IN BRICKER, 1965)	RHODOCHROSITE ($MnCO_3$) → BIRNESSITE (δ-MnO_2) → NSUTITE (γ-MnO_2) → PYROLUSITE (β-MnO_2) AND CRYPTOMELANE (α-MnO_2)
7 TOYOGUCHI MINE, IWATE PREFECTURE, JAPAN (NAMBU & TANIDA, 1961)	RHODOCHROSITE ($MnCO_3$) → MnO GEL → δ-MnO_2 → γ-MnO_2 → β-MnO_2; MnO GEL → K-ABSORPTION → α-MnO_2 (WITH SMALL AMOUNT OF RHODONITE, TEPHROITE ETC.)
8 NODA TAMAGAWA MINE, IWATE PREFECTURE, JAPAN. (WATANABE ET AL., 1960)	PYROCHROITE [$Mn(OH)_2$] → HAUSMANNITE (Mn_3O_4) AND HYDROHAUSMANNITE (Mn_3O_4 + β-MnOOH) → PYROLUSITE + CRYPTOMELANE (β-MnO_2) (α-MnO_2) AND RAMSDELLITE OR NSUTITE (MnO_2) (γ-MnO_2)
9 URUKUT DEPOSIT, HUNGARY. (NEMETH & GRASSELLY, 1966)	RHODOCHROSITE ($MnCO_3$) → MANGANITE (γ-MnOOH) → PYROLUSITE (β-MnO_2) AND CRYPTOMELANE (α-MnO_2). PRESENCE OF NSUTITE (γ-MnO_2) SUSPECTED
10. INDIA, METAMORPHOSED MANGANESE FORMATION. (ROY, 1966)	HAUSMANNITE (MOST EASILY ALTERED) → PYROLUSITE. BRAUNITE (EASILY ALTERED) → K-ABSORPTION — CRYPTOMELANE HOLLANDITE (EASILY ALTERED) → IN CASE OF ALTERATION FROM HOLLANDITE, CRYPTOMELANE CONTAINS VARIABLE AMOUNTS OF Ba RHODONITE (EASILY ALTERED) → JACOBSITE (MANGANESE-RICH FAIRLY STABLE) → PYROLUSITE. JACOBSITE (IRON-RICH) → HEMATITE BIXBYITE (VERY STABLE) → PYROLUSITE AND/OR CRYPTOMELANE

Tableau VII : Altération de différents minerais de manganèse dans des conditions supergènes

(d'après SUPRIYA ROY 1968)

B - Hypothèses sur le gisement d'Imini

La minéralisation est uniquement sous forme d'oxydes (pyrolusite, psilomélane, wad).

Faisons en suivant la minéralogie l'inventaire des résultats acquis :

B1 - La Pyrolusite

Aucune observation n'a pu être faite prouvant le caractère synchrone de la cristallisation de la pyrolusite et de la série dolomitique cénomano-turonienne. Au contraire sa cristallisation soit dans des fissures ou dans des poches de la dolomie, soit en ciment de brèche karstique, soit autour de morceaux de psilomélane, soit en diffusion au sein même des argiles karstiques, indique une mise en place postérieure à certains épisodes de la karstification et donc au Cénomano-Turonien. Mais, la karstification étant un phénomène constitué d'une succession de dépôts et de reprises, on trouve aussi dans les mêmes dépôts karstiques de la pyrolusite sous forme de galets. La cristallisation de la pyrolusite est d'ailleurs antérieure aux épisodes karstiques actuels.

Il faut retenir de cet ensemble de faits que, dans la quasi-totalité des cas, la pyrolusite représente un minerai secondaire dont la genèse est étroitement liée aux phénomènes de circulation des eaux superficielles.

En l'absence de relations nettes avec ces phénomènes, on remarque que la pyrolusite présente toujours un aspect de minerai tardif, vis à vis des autres minerais avec lesquels elle est mélangée.

Rappelons qu'au vu de certaines propriétés cristallographiques, la pyrolusite était aussi considérée par GAUDEFROY comme un minerai secondaire, car étant une ex-manganite.

B2 - La Psilomélane

La cristallisation de la psilomélane est antérieure à celle de la pyrolusite. D'autre part les brèches décrites plus haut nous assurent que de la psilomélane peut être fragmentée et déplacée mécaniquement par les phénomènes de karstification au même titre que la dolomie ; enfin, une partie de la psilomélane, que l'on retrouve sous forme de concrétions, peut être attribuée à une mise en mouvement chimique du manganèse par ces mêmes phénomènes.

L'hypothèse la plus simple est de penser que les morceaux de psilomélane des brèches représentent des reliques d'un ancien minerai à psilomélane, antérieur à la formation de la pyrolusite.

Est-il pour cela un minerai primaire, contemporain du dépôt des dolomies ?

Le seul élément en faveur de cette dernière hypothèse est la présence dans certains échantillons d'un rubannement interne et de petites fissures "de compaction" (?) qui pourraient être liés à un dépôt sédimentaire calme. Cet élément n'est cependant pas suffisant et nous ne pouvons écarter l'hypothèse de l'existence d'un autre minerai primaire.

En regard de nombreux autres gisements (cf. Tableau VII), compte tenu de l'environnement carbonaté et de l'importance des phénomènes d'altération évoqués au V-A, il est tentant de penser à la présence dans la série dolomitique de carbonate manganeux, ou d'oxydes de degré inférieur primaires.

Ensuite, les circulations superficielles oxydantes (avec déplacement du manganèse plutôt vertical descendant si l'ensemble de la série dolomitique primaire présentait des teneurs anormales en manganèse ou plutôt horizontal si seulement le niveau basal équivalent latéral des couches 1 et 2 présentait de telles teneurs anormales), auraient provoqué le dépôt d'oxydes de manganèse particulièrement riches sous forme de psilomélane et de pyrolusite.

En l'état actuel des observations, le seul élément favorable à cette dernière hypothèse est le fait d'avoir trouvé des dolomies manganésifères à cryptomélane (23,7% en Mn) à 30 Km au Sud Ouest de Bou Tazoult, dans le petit gisement d'oxydes de manganèse d'Aghbalou (cf. Partie II, I) : celui-ci montre, au sommet du Cénomano-Turonien, sous une dolomie à silex, des amas minéralisés qui sont un équivalent de la couche 3 d'Imini. On pourrait interpréter ces dolomies manganésifères (*) comme des témoins d'un minerai primaire ou d'un minerai intermédiaire entre des carbonates manganeux et les oxydes riches de manganèse.

Il est cependant bon de mettre l'accent sur la puissance réduite du Cénomano-Turonien qui, même en tenant compte de l'érosion anté-sénonienne, ne devait pas dépasser une quizaine de mètres au niveau du gisement. Pour pouvoir aboutir à un gisement aussi important que celui d'Imini, on ne pouvait donc oxyder qu'un volume relativement faible de dolomies, ce qui implique qu'elles soient à l'origine assez riches en manganèse (**). Or on n'en a retrouvé aucune trace dans le bassin de l'Imini (***).

En conclusion, il est impossible d'affirmer avec certitude quel était le minerai primaire du gisement de l'Imini. L'hypothèse la plus simple est de considérer la psilomélane comme le minerai primaire [redacted] sous forte d'autres oxydes [redacted]. L'action des eaux superficielles a conditionné ensuite la cristallisation de la pyrolusite, qui représente maintenant l'essentiel du gisement au point de vue économique. Mais on ne peut écarter totalement l'hypothèse d'un gisement primaire initialement moins riche, à oxydes de degré inférieur ou moins probablement à dolomies manganésifères.

Dans ces deux hypothèses, la morphologie actuelle du gisement est, de toutes façons, l'image assez fidèle du dépôt primaire, l'altération par des eaux oxydantes ne permettant pas un important déplacement du fait de l'insolubilité du manganèse sous forme d'oxydes.

* On a émis des réserves sur cette interprétation dans la description du gisement d'Aghbalou (cf. Partie II - I)

** La teneur des dolomies aurait dû être de l'ordre de 3 à 4% en Mn, si toute la série était minéralisée, de 9 à 12% en Mn si seulement le tiers l'était. Rappelons qu'à Bou Arfa (Maroc Oriental) certains bancs de calcaires et dolomies chocolat non altérés de la série transgressive du Lias titrent assez régulièrement 2 à 3 % Mn (Pouit et Jouravsky, 1965).

*** Les dolomies étant toujours dans la zone d'oxydation, ceci explique peut-être cela.

B3 - Hypothèse sur la zonalité du gisement

B3.1 - Zonalité pyrolusite (au Nord) - psilomélane (au Sud).

Cette zonalité a été mise en évidence au IV - 4. Si elle n'est pas toujours nette, puisque la minéralisation montre le plus souvent un mélange des deux oxydes, elle se vérifie néanmoins à l'échelle de l'ensemble.

Les hypothèses précédentes concernant la nature du minerai primaire du gisement, les phénomènes d'oxydation observés et les faibles possibilités de déplacement des oxydes de manganèse en solution permettent les interprétations suivantes :

- La zonalité minéralogique pyrolusite-psilomélane doit refléter une zonalité chimique initiale dugisement, à savoir la présence d'une zone riche en cations disponibles au Sud, pauvre en cations disponibles au Nord.
- On ne peut écarter la possibilité que les phénomènes de circulation des eaux dans la série dolomitique (*) aient pu, en balayant la zone du gisement selon une certaine direction, introduire une zonalité secondaire surimposée à la première.

B3.2 - Zonalité oxydes de fer (au Nord) - oxydes de manganèse (au Sud)

Cette zonalité est très marquée et se vérifie quelque soit la couche de manganèse et sa profondeur : les oxydes de fer, souvent sous forme concrétionnée, relaient la minéralisation manganésifère vers le Nord sur une distance qui peut être de l'ordre de quelques dizaines de mètres, et avec une puissance qui atteint parfois le mètre.

Son interprétation pose les mêmes problèmes qu'au paragraphe précédent :

- Le fait que l'on trouve du fer, sous forme d'oxydes, dans les bancs dolomitiques supérieurs du Cénomano-Turonien, au Nord du gisement (**), montre que certaines dolomies avaient localement une teneur non négligeable en fer. Il pouvait en être de même en bordure Nord de la minéralisation manganésifère.

* Nous n'avons aucune donnée sur les directions prises par les circulations d'eaux karstiques dans la série dolomitique. La présence de nappes aquifères, reposant sur l'horizon imperméable de l'Infra-Cénomanien, est également probable à la base de la série dolomitique : on retrouve au Nord du gisement des pustules centimétriques d'oxydes de fer semblables à celles que Freytet (1964) considérait comme caractéristiques de la zone de battements de nappe. Ces nappes ont pu affecter différentiellement la minéralisation suivant la position de cette dernière par rapport à la surface hydrostatique.

** A la partie supérieure de la coupe A de Bou Agguioun, on rencontre un amas stratiforme d'oxydes de fer concrétionnés, dune dizaine de mètres de long pour 20-30 cm de puissance ; il est situé sous un banc de dolomie qui est constellé de petites géodes à oxydes de fer.

- le fait que ce fer se présente sous une forme très remaniée, et très irrégulière, suggère l'intervention de phénomènes ultérieurs de type karstique.

B4 - La Lithiophorite

Ce minéral se présente associé à la psilomélane dans des minerais de structures très variées, qui indiquent souvent une mise en place postérieure. Signalé exceptionnellement d'origine hydrothermale (Postmasburg), il apparaît surtout comme produit d'altération d'origine supergène (Nevada, Moanda); c'est sûrement aussi le cas ici.

3) CONCLUSION A L'ETUDE DU CENOMANO-TURONIEN : HYPOTHESES SUR LE MODE DE FORMATION DU GISEMENT

A - Paléogéographie du bassin de l'Imini au Cénomano-Turonien

Les levés des différentes coupes du Cénomano-Turonien, l'étude de sa limite Sud ainsi que son étude pétrographique et paléontologique, concordent pour faire de la zone de l'Imini une zone côtière où se serait déposé un matériel d'abord gréseux puis dolomitique sous faible profondeur d'eau. Il n'est cependant pas possible d'être plus précis, car les fossiles trouvés (dents de squales, stromatolithes, pistes de vers) ne sont pas caractéristiques d'une bathymétrie précise.

Cette zone de bordure de rivage était extrêmement plane, et dans le bassin de l'Imini, on n'a pas pu déceler des dénivellations au fond dépassant le mètre (cf. Fig. 4).

L'extension et la régularité de certains bancs dolomitiques montrent que les conditions physico-chimiques y étaient très homogènes.

La seule "anomalie" constatée au sein de cet étage est la présence d'un banc de dolomie gréseuse, entre les couches 1 et 2 à Bou Agguioun, qui a fait l'objet d'une étude particulière (cf. III - 3D - fig. 6).

Pour expliquer la constitution de ce banc, on ne peut imaginer un simple passage d'une dolomie pure à une dolomie gréseuse, en bordure de rivage. On constate en effet l'existence d'une nouvelle bande de dolomie non gréseuse en se rapprochant du rivage, alors que la puissance de la série continue à décroître.

On peut penser à l'existence d'un haut-fond ou d'un seuil, mais les variations du Cénomanien sont très faibles (de l'ordre du mètre).

L'hypothèse la plus probable est donc celle d'un courant d'apport sous-marin, à faible profondeur, de direction approximativement NE-SW, ce qui expliquerait que la teneur en détritiques de cette dolomie diminue progressivement en allant vers le SW (cf. fig. 5). Cette direction est à peu près parallèle à celle du rivage supposé du Cénomanien (cf. III - 3E).

Ceci n'a rien d'étonnant : les courants de houle, dont l'action se fait sentir jusqu'à 15m dans l'Atlantique (VATAN, 1967) prennent une direction souvent parallèle au rivage, conséquence des vents dominants qui existent en l'endroit considéré. Il pourrait s'agir d'un cas similaire dans la zone côtière de l'Imini, avec un courant qui au droit de Bou Agguioun, à environ 4 Km du rivage, aurait 400 m de large.

B - Hypothèses sur le gisement d'Imini

B1 - Localisation du gisement

Nous avons vu précédemment que, quelquesoit le minerai primaire (vraisemblablement un oxyde), la configuration actuelle du gisement reflète assez fidèlement sa morphologie initiale;

Les traits essentiels du cadre géologique qui ressortent de l'étude du gisement actuel sont donc caractéristiques du gisement primaire, à savoir :

- la liaison de la minéralisation avec un apport d'éléments détritiques, dans un ciment rosé, le manganèse se déposant dans la zone de passage du milieu détritique au milieu carbonaté (cf. fig.6). Cet apport correspondrait à un courant sous-marin parallèle au rivage (cf. A) (*).

- la localisation de la minéralisation dans une légère dépression du dépôt sous-jacent provoquée par ce même courant (cf. fig.8).

Ces deux résultats n'ont pu être démontrés que dans une partie du gisement (Bou Agguioun) d'une part, en raison de sa situation favorable à l'extrême-Est du gisement (dans l'hypothèse d'un courant venant du Nord-Est) , et d'autre part, en raison d'un moindre degré d'altération du Cénomano-Turonien. Rien ne s'oppose à ce qu'ils soient extrapolés pour l'ensemble du gisement.

Ces conclusions confirment donc l'hypothèse de G. POUIT (1964), pour qui il y aurait "association du manganèse, dans un milieu carbonaté réducteur, à des faciès rougeâtres et détritiques qui, par leur répartition, indiquent d'une façon très vraisemblable, l'influence d'apport sous l'effet de courants".

B2 - Mécanisme de dépôt du manganèse

Les remarques précédentes montrent que pour la couche 2 le dépôt de manganèse est lié à une anomalie dans la sédimentation tant dans le sens

* Le gisement forme une bande parallèle au rivage ; dans l'hypothèse d'un minerai primaire sous forme d'oxydes, on ne peut donc espérer la présence de carbonates en prolongement de la zone à oxydes puisqu'il n'y a pas de variations sensibles des conditions physico-chimiques au long du dépôt.

vertical (passage de la dolomie gréseuse à une dolomie très pure) que dans le sens horizontal (liaison avec un courant d'apport sous-marin). Ces variations dans la sédimentation induisent, dans le bassin, des variations des conditions physico-chimiques - en particulier, une augmentation du Ph qui provoque la précipitation du manganèse en solution, ou en suspension dans les eaux.

L'existence possible de dénivellations dans la topographie du fond sous-marin au niveau du gisement a pu également jouer un certain rôle en introduisant localement des conditions particulières. La figure 4 ne permet cependant pas d'être catégorique sur l'existence de véritables lagunes car les dénivellations qui ont pu être mises en évidence, sont seulement de l'ordre du mètre.

Enfin, du fait que des stromatolithes ont été découvertes dans la dolomie, au dessus de la couche 3, la possibilité d'intervention d'agents biologiques, précipitant sélectivement le manganèse, n'est pas à écarter.

B3 - Origine du manganèse

On a montré la liaison du manganèse avec des apports détritiques terrigènes. Ceux-ci proviennent essentiellement du Précambrien III voisin (cf. III - 2A). Aussi, l'hypothèse d'un apport de manganèse provenant d'un lessivage des roches du socle est la plus plausible ; ceci expliquerait la teneur du minerai en potassium et lithium, par altération des feldspaths des roches acides. Ces roches étant pauvres en manganèse (MnO = 0,12 à 0,15%), on a aussi mis l'accent sur les possibilités de lessivage de gisements de manganèse encaissés dans ces formations du Précambrien III (POUIT et JOURAVSKY) : cela pourrait être à l'origine d'un enrichissement relatif en plomb et baryum, le minerai du gisement volcano-sédimentaire de Tiouine (Précambrien III) étant riche en ces éléments.

Cependant, le problème de l'origine du manganèse est peut-être encore plus complexe : Il existe en effet dans la région de l'Imini, des filons de manganèse post-cénomaniens d'origine probablement hypogène (*). G. POUIT (1964) écrivait à ce sujet :

" L'existence de venues primaires de manganèse à une ou plusieurs époques entre la fin du Trias et du Cénomanien est assez bien établie. Il semble aussi qu'il ait existé une tectonique pendant et après le dépôt du Trias , mais une phase cénomanienne n'est pas visible. Enfin, signalons que si l'on ne connaît pas de manifestations magmatiques à Imini, on sait que le Crétacé, dans l'Atlas de BeniMellal, contient des coulées de basalte".

* Rappelons l'étude de G. JOURAVSKY et G. POUIT (1960) :

"Présence de filons de manganèse d'âge post-triasique ou post-Cénomanien dans la région de l'Imini"

Les auteurs y décrivaient des filons de psilomélane situés dans l'Oued Boulgir, et dans la région d'Aglagal (8 Km à l'Ouest de la gara Bou-Tataght), et envisageaient une origine hydrothermale-sédimentaire, contemporaine du dépôt de la dolomie pour le manganèse.

P A R T I E I I

AUTRES GISEMENTS DE MANGANESE (REGION DU SIROUA) LIES A LA TRANSGRESSION DU CENOMANO-TURONIEN

Page

I - AGHBALOU 79

II - TASDREMT 80

1) CADRE GEOGRAPHIQUE ET GEOLOGIQUE 80

2) LA MINERALISATION 81

A - Description des Travaux

B - La Minéralisation

3) CONCLUSIONS A L'ETUDE DU GITE DE TASDREMT (BOULADON et MEUNE, 1951) 83

A - Paléogéographie

B - Localisation de la minéralisation

C - Description de la minéralisation

D - Altération de l'encaissant de la minéralisation

4) ORIGINE DE LA MINERALISATION - COMPARAISON AVEC LE GISEMENT D'IMINI 84

Dans la région d'Imini, il existe d'autres indices de manganèse liés au Cénomano-Turonien. Ce sont, d'Est en Ouest, l'indice d'Ounila (à l'Est du gisement de l'Imini ; accès par Tazleft), le petit gisement maintenant abandonné d'Aghbalou (à l'Ouest du gisement de l'Imini et au Sud de Sour), l'indice d'Aït Telti (au pied du Haut-Atlas, à l'Ouest de Sour), et enfin le gisement de Tasdremt à l'Ouest du Sircua, près d'Aoulouz.

Nous n'avons que des renseignements oraux sur les indices d'Ounila et d'Aït Telti.

Le premier aurait donné lieu à la réalisation d'un puits, situé près de Aït Attou, il y a une vingtaine d'années (*). Du second, on aurait extrait en 1974 un peu de minerai "semblable à celui d'Aghbalou" (renseignement du sous-caïd d'Assareg).

Par contre, nous avons pu étudier rapidement les gisements d'Aghbalou et de Tasdremt (**), qu'il est interessant de comparer au gisement d'Imini.

I - AGHBALOU

Ce petit gisement montre des amas stratiformes d'oxydes de manganèse et de fer, localisés au sommet d'une formation dolomitique d'une puissance de 20-25m, rattachée au Cénomano-Turonien. Ce dernier présente des faciès analogues à ceux rencontrés à Imini - dolomie fossilifère à lamellibranches, dolomie à silex - et témoigne d'un mode de dépôt calme.

La morphologie de la minéralisation est difficile à étudier en raison de la faible extension des travaux. Le tonnage extrait serait de l'ordre de 5.000 tonnes.

La position des amas, sous une dolomie à silex, est analogue à celle de la couche 3 d'Imini. En outre, on observe d'autres caractères semblables aux amas en couche 3 d'Imini : l'association fer-manganèse, l'aspect remanié de la minéralisation et la présence de dents de squales et de raie dans le minerai.

* Cet indice est signalé sur la carte des gisements de manganèse de la région du Siroua - Géologie des Gîtes Minéraux Marocains, Notes et Mémoires N°83, 1951

** Entre ces deux gisements, sur la carte précédente (cf *) est signalé l'indice minéralisé d'Amzerko. Nous n'avons pu y trouver la présence de manganèse, mais par contre, il est intéressant de noter que la corniche dolomitique est très comparable à celle d'Imini : elle a une puissance de l'ordre de 12 à 15m et se termine par un banc de dolomie à stromatolithes.

(cf PL E-3)

Il faut noter aussi la présence, dans le déblais, de dolomies noirâtres manganésifères. Le manganèse est sous la forme d'aiguilles de cryptomélane disséminées dans la dolomie. Une analyse d'un échantillon massif donne une teneur de 23,7% en Mn (dont 35,5% en MnO2). Des analyses à la micro-sonde confirment qu'il n'y a pas présence du manganèse sous forme de carbonates.

La structure de ces dolomies manganésifères est très comparable à celle de la roche carbonatée noire, finement rubanée, qui constitue la couche manganésifère de l'extrême base du gisement de Moanda (Gabon) : Cette roche carbonatée de Moanda, qui montre le manganèse sous forme de rhodocrosite, subit deux modes d'oxydation différents pour donner soit l'association manganite - pyrolusite, soit de la cryptomélane (Perseil et Bouladon, 1971).

On ne peut aboutir aux mêmes conclusions en ce qui concerne les échantillons de dolomie manganésifère d'Aghbalou. En effet ceux-ci ne peuvent être interprétés de manière sûre comme les témoins d'une dolomie manganésifère syngénétique dont le manganèse serait déjà recristallisé sous la forme cryptomélane. Aussi longtemps qu'il n' aura pas été trouvé de rhodocrosite ou de carbonate manganeux, on peut aussi bien penser à un phénomène d'envahissement des dolomies par l'oxyde de manganèse ; cette diffusion intergranulaire de manganèse serait alors un phénomène secondaire de substitution.

II - TASDREMT

Ce gisement a fait l'objet d'une étude très complète de Messieurs BOULADON et MEUNE (1951). Il a été plus ou moins exploité entre 1930 et 1960 (jusqu'en 1949, par l'Omnium Minier Nord Africain, ensuite par quelques reprises artisanales), et récemment, la SACEM a entrepris une nouvelle campagne de reconnaissance par sondages.

1) CADRE GEOGRAPHIQUE ET GEOLOGIQUE

Le gisement de manganèse de TASDREMT est situé à proximité Est de la route d'Amerzgane à Agadir, sur la rive droite de l'Oued Souss, dans les premiers kilomètres de la piste d'Aoulouz à Askaoun.

Il est séparé d'Imini par le bombement du Siroua sur lequel subsistent quelques lambeaux crétacés dont celui d'Aghbalou. Le gisement comprend deux zones principales :

- La zone de TASDREMT, de 6 Km^2 de superficie environ, monoclinale de 10 à 20° NNW de pendage, buttant au Nord sur un important accident WNW exhaussant le socle georgien.

- La cuvette synclinale d'Aoufour de 15 Km^2 de superficie, sur la périphérie de laquelle la série dolomitique support de la minéralisation est visible de façon presque continue, à léger pendage Nord en bordure Sud, redressée localement jusqu'à la verticale, en bordure Nord.

Il existe également une petite boutonnière minéralisée près de Tiranimine, en extension Ouest, à 5 Km environ à l'Ouest de Tasdremt près de la route d'Agadir.

La minéralisation en manganèse est liée à un épisode dolomitique encadré de séries détritiques, rattachées au Cénomanien. De bas en haut, on observe les séries suivantes :

- un socle adoudounien, dolomitique à l'Ouest ("dolomies inférieures") argilo-gréseux violacé à l'Est ("séries lie de vin"),

- la série cénomanienne qui comprend :

  . Une série détritique inférieure (alternance de conglomérats, de grès rouges sableux, d'argiles rouges) augmentant de puissance d'Ouest en Est, de quelques mètres à Tasdremt jusqu'à 30 m à Aoufour.

  . Une série dolomitique constituée de bancs de dolomie claire, rosée à blanche avec des interlits marneux minces. La dolomie contient des niveaux fossilifères à bivalves parfois abondants et à oursins. La puissance croît de 5 à 10 m à l'Ouest, à 20 - 25 m à l'Est.

- Les formations cénomaniennes sont surmontées de séries de grès friables rouges à intercalations calcaires du Sénonien, puissants à l'Ouest de Tasdremt, très érodés par les affluents du haut Souss dans la cuvette de Aoufour.

2) LA MINERALISATION

A - Description des travaux

Les travaux comprennent essentiellement :

- A Tiranimine :

Une étude par tranchées et amorces de galeries de la couche affleurante le long des deux sous-affluents du Souss.

- A Tasdremt :

Le traçage et l'exploitation partielle de la zone mine (à 1,5 Km à l'Ouest du Douar) avec environ 22.000 T exploitées, la reconnaissance par puits en proche extension Nord et l'essai de reconnaissance par puits en direction Ouest vers Tiranimine, abandonnée sur venues d'eau.

- A Aoufour :

La reconnaissance par tranchée et travers-bancs des affleurements périphériques de dolomie, le traçage et l'exploitation partielle (environ 3.000 T exploitées) de la zone "Aoufour-Mine" sub-affleurante à 2 Km environ à l'Ouest du Douar.

Dans l'ensemble, les travaux ont été limités à la proximité des zones affleurantes en raison de la teneur en plomb (jusqu'à 7% Pb) qui constituait un obstacle à la vente du minerai pour utilisations métallurgiques.

Les réserves inventoriées sont de l'ordre de 220.000 tonnes à Tasdremt et 50.000 tonnes à Aoufour.

B - La minéralisation

B1 - Localisation

Les couches minéralisées en manganèse sont liées à l'épisode dolomitique :

- à la base : "une couche 1", irrégulière, existant surtout à Tasdremt, de puissance maximale 20 cm,

- au sommet ou à son voisinage, "la couche 2", couche principale, de l'ordre de 0,60 m en moyenne à Tasdremt et de l'ordre de 0,50 m à Aoufour.

- Par"couche 3", on désigne à Tasdremt des niveaux irréguliers liés aux passées dolomitiques du détritique supérieur : Ainsi, on en trouve 7 situés jusqu'à 25 mètres au-dessus de la couche 2 dans la coupe faite au droit de Tasdremt Mine.

B2 - Nature

La minéralisation en manganèse se résume à deux types :

- psilomélanes concrétionnées (dont la coronadite),

- wad brun, terreux.

La pyrolusite n'a été observée qu'exceptionnellement. La barytine et la calcite sont fréquentes.

B3 - Teneur du Minerai

Un échantillonnage, récemment effectué par la SACEM, par rainurages systématiques dans la mine de Tasdremt, donne les valeurs suivantes :

- Mn	30,3 à 43,8%	
(dont MnO_2	43,8 à 61,5%)	
- Pb	4,7 à 6,7%	
- BaO	5,1 à 7,2%	
- Fe_2O_3	0,5 à 1,1%	
- SiO_2	6,9 à 26,3%	(dans les couches à intercalaire détritique important)

Localement, dans des traçages en extension Ouest de la mine de Tasdremt, on observe une teneur plus forte (50,7% Mn - 72,6% MnO_2).

A Aoufour, les teneurs sont équivalentes.

3) CONCLUSIONS A L'ETUDE DU GITE DE TASDREMT

Rappelons sur différents problèmes, les conclusions de J. BOULADON et M. MEUNE.

A - Paléogéographie

"L'allure topographique du socle avant la transgression cénomanienne semble avoir été assez irrégulière et des hauts-fonds y sont décelables par disparition en biseau de la base de la série dolomitique (*).

Cette série est une vaste formation littorale (**) et lagunaire, à prédominance détritique, où s'intercalent de rares épisodes dolomitiques".

B - Localisation de la Minéralisation

" La minéralisation se rattache aux horizons dolomitiques (***) inclus dans la série détritique, et en particulier à l'épisode dolomitique principal. Plus précisément l'apparition des différentes couches est liée au changement de faciès du début ou de la fin de l'épisode : passage des grès aux dolomies (mouvement probable de transgression) ou passage des dolomies aux grès (mouvement de régression)."

C - Description de la minéralisation

" Dans sa partie inférieure et moyenne, la couche a parfois un aspect rubané : alternance de dolomie jaune et d'oxyde de manganèse en lits de l'ordre du mm . Dans sa partie supérieure, au contraire, elle s'enrichit jusqu'à être constituée entièrement de minerai concrétionné (Tasdremt).

Remarques personnelles

* De récents sondages ont montré que le biseautage pouvait affecter jusqu'au détritique supérieur inclus (Tiranimine).

** ELSASS et LAVERSANNE (1973) ont observé, à Tasdremt-mine, des anti-dunes, qui sont caractéristiques de la zone intertidale.

*** Ceci est particulièrement frappant pour les petits bancs dolomitiques, de quelques cm de puissance, situés dans la série détritique supérieure (Tasdremt Nord), qui montrent presque tous du manganèse sous forme de filaments assez discontinus.

... A Aoufour, ainsi qu'en partie à Tiranimine, la couche principale a été nettement remaniée en cours de sédimentation... Parfois la couche entière est ainsi remplacée par un dépôt bréchoïde. Les éléments de la brèche sont si anguleux que l'on doit admettre la dislocation sur place d'une couche préexistante."

D - Altération de l'encaissant de la minéralisation

"C'est au toit et au mur de la couche qu'apparaissent le plus nettement les phénomènes secondaires de substitution... Aux phénomènes de diffusion intergranulaire (envahissement des dolomies par l'oxyde de manganèse sous forme de minces aiguilles opaques) et de substitution (remplacement de la dolomie par l'oxyde de manganèse), il faut joindre un troisième mode de remaniement du manganèse : le dépôt dans les fissures ou les vides de dissolution. Il y a donc eu "remise en mouvement du manganèse à partir d'un dépôt originel par l'intermédiaire de solutions. Ces solutions ne s'accompagnent d'aucun apport ; elles se bornent à redéposer les éléments préexistants (calcite, argile) ou à provoquer la recristallisation de la dolomie... il s'agit probablement d'eaux d'infiltration météoriques."

4) ORIGINE DE LA MINERALISATION - COMPARAISON AVEC LE GISEMENT D'IMINI

Les conclusions, faites sur le gisement de Tasdremt au paragraphe précédent, montrent qu'il existe certains points communs avec le gisement de l'Imini.

- Ces dépôts de manganèse sont liés au passage d'une sédimentation dolomitique à une sédimentation détritique.
  Cependant, la paléogéographie est totalement différente : milieu très calme et régulier à Imini, milieu très agité et irrégulier à Tasdremt.
  De plus, pour le gisement de Tasdremt, on n'a pas trouvé de liaison avec des courants d'apport sous-marin comme c'était le cas à Imini : la disposition en bande du dépôt de Tasdremt correspondrait sans doute à un rivage de lagune.
  Il n'est donc pas possible de faire des rapprochements directs entre les différentes couches minéralisées des deux gisements.

- Les deux dépôts de manganèse ont subi d'importants phénomènes de remaniement.
  Il y a néanmoins, entre les deux, une importante différence en ce qui concerne la minéralogie, puisqu'à Tasdremt l'oxydation n'a pas été suffisamment intense pour permettre le développement de pyrolusite d'origine secondaire (minerai chimique de l'Imini).
  Par contre, le même mécanisme d'enrichissement en plomb a pu s'exercer, à la fois sur la couche principale de Tasdremt et sur la couche 3 d'Imini.
  Leur position à proximité de la surface serait à l'origine d'une concentration des éléments les moins solubles, en particulier du plomb, grâce à une émersion immédiatement postérieure au dépôt.

- En outre, on peut noter que J. BOULADON et M. MEUNE affirment qu'à Tasdremt, le dépôt du manganèse sous la forme de psilomélanes est contemporain de la sédimentation , car ils ont observé la présence de "plusieurs niveaux de conglomérats à ciment stérile contenant des galets empruntés à la couche, quelques mètres au dessus de la couche principale."
  Nous n'avons pu conclure de même avec certitude pour le gîte d'Imini.

Quant à l'origine du manganèse, nous faisons les mêmes remarques pour Tasdremt que pour Imini. On trouve bien à quelques kilomètres des deux gisements, des filons de manganèse encaissés dans le socle, dont l'origine reste à discuter (hydrothermale pour les uns, per descensum pour d'autres). Mais le manganèse de Tasdremt, comme celui de l'Imini, provient plus probablement de l'altération du socle précambrien rhyolitique.

C O N C L U S I O N

Le gisement de manganèse de l'Imini se caractérise par un minerai de teneur élevée (50-55% en Mn). Uniquement sous forme d'oxydes et particulièrement riche en pyrolusite, ce minerai fait du gisement de l'Imini l'un des principaux producteurs mondiaux de minerai chimique.

Comme la majorité des gisements de manganèse, celui d'Imini est lié à la transgression d'une série marine sur un socle stable préalablement érodé. La série est dolomitique, et le dépôt du manganèse est associé à des faciès détritiques (dolomies gréseuses), formés sous l'action de courants d'apport sous-marins. Ceci explique la morphologie particulière du gisement, constitué d'une bande disposée parallèlement au rivage et mesurant 10-15 Km de long pour quelques centaines de mètres de large.

Le gîte de l'Imini se caractérise aussi par l'importance des phénomènes de remaniement, d'origine supergène, liés au fait que la série cénomano-turonienne constitue un horizon perméable privilégié entre d'autres terrains imperméables. L'action des eaux superficielles a conditionné la cristallisation de la pyrolusite. Le minerai primaire était sans doute sous forme d'oxydes parmi lesquels des psilomélanes s.l.. Cette altération supergène a la particularité de s'être exercée dans la série cénomano-turonienne, sans modifier la morphologie générale de la minéralisation primaire dont l'aspect stratiforme a été conservé.

Le problème de l'origine du manganèse reste posé. Des deux hypothèses habituelles, manganèse d'origine détritique ou d'origine vulcanogène, la première semble la plus plausible au vu des liaisons du gisement avec un apport d'éléments détritiques provenant du socle précambrien voisin. Il existe par ailleurs dans ce socle des gisements d'origine volcano-sédimentaire d'âge Précambrien III (ex : Tiouine, Bouladon J. et Jouravsky G., 1955) dont la destruction partielle a pu fournir une partie du matériel de l'Imini. Mais on n'a pas de preuve d'une liaison du minerai de l'Imini et d'un volcanisme synchrone bien qu'aient été découverts, dans la région, des filons de manganèse d'âge post-triasique ou post-Cénomanien (Jouravsky G. et Pouit G., 1960).

B I B L I O G R A P H I E

Les ouvrages cités ont été classés en différents chapitres. Cette bibliographie ne saurait être considérée comme limitative, en ce qui concerne les phénomènes karstiques (1) et les articles généraux sur le manganèse (2).

1) LES PHENOMENES KARSTIQUES ET LEURS INCIDENCES METALLOGENIQUES

BERNARD A.J. (1971) - Metallogenic Processes of Intra-Karstic Sedimentation in "Ores in Sediments" - VII Internat. Sedimentol. Congress. Heidelberg 31/8 - 3/9, 1971.

CAZO P. (1965) - La chimie du gaz carbonique et des carbonates et les phénomènes hydrogéologiques karstiques - Chronique d'Hydrogéologie n°7, B.R.G.M. Orléans.

CROS P. et LAGNY P. (1969) - Paléokarsts dans le Trias moyen et supérieur des Dolomites et des Alpes Carniques occidentales, Importance stratigraphique et paléogéographique - Sciences de la Terre, Nancy, Tome XIV, n°2

GEZE B. (1965) - Les conditions hydrogéologiques des roches calcaires - chronique d'hydrogéologie n°7, B.R.G.M., Orléans.

HERAK M. (1972) - Important karst regions of the Northern hemisphere - ed. Herak - Stringfield - Amsterdam, London, Elsevier, 551 p.

LAUZAC F. (1969) - Les minéralisations plombo-zincifères en milieu karstique - Travaux départ. Géol. Minéral. Fac. Sciences Clermont-Ferrand

LELEU M. (1966) - Le karst et ses incidences métallogéniques - Sciences de la Terre, Nancy, Tome XI, n°4, p. 385-413

LELEU M. (1969) - Essai d'interprétation thermodynamique en métallogénie : Les minéralisations karstiques du Laurium - Géologie Appliquée, section II n°4, B.R.G.M., Orléans.

RENAULT P. (1957) - L'effondrement karstique - Ann Spéléol. t. XII fasc.1-4 p. 19-46

SAWKINS F.J. (1969) - Chemical Brecciation, an unrecognized mecanism for breccia formation - Economic Geology, Lancaster, vol 64, p. 613-617

2) LE MANGANESE

BOULADON J. (1970) - Les principaux types de gisements de manganèse et leur importance économique - Rev. Ind. Minérale - Janvier 1970

BOULADON J. et PERSEIL E.A. (1971) - Microstructures des oxydes de manganèse à la base du gisement de Moanda (Gabon) et leur signification génétique. - C.R. Acad. Sci. Paris, t. 273, p. 278-279

BRICKER O.P. (1965) - Some stability relations in the system $Mn-O_2-H_2O$ at 25° and one atmosphere total pressure - Amer. Mineral. vol. 50, p. 1296-1354

FLEISCHER M. (1960) - Studies of the manganese oxide minerals : III Psilomelane - Amer. Mineral. vol 45, p. 176-187

FLEISCHER M. (1964) - Manganese oxide minerals : VIII Hollandite - Advancing Frontiers in Geology and Geophysics p. 221-232

FLEISCHER M. et FAUST G.T. (1963) - Studies on manganese oxide minerals : VII Lithiophorite - Schweiz. Mineral. v. Petrograph. Mitteil. vol.43 p.197-216

FLEISCHER M, RICHMOND W.E. et EVANS H.T. (1962) - Studies on the manganese oxydes : V Ramsdellite, MnO_2, an orthorhombic dimorph of pyrolusite - Amer. Mineral., vol. 47 p. 47-58

KRAUSKOPF K.B. (1956) - Separation of manganese from iron in the formation of manganese deposits in volcanic association - 20th Int. Geo. Congr. Symp. Manganese, vol 1, p. 119

KRAUSKOPF (1957) - Separation of manganese from iron in sedimentary processes : - Geochim. et Cosmochim. Acta, vol. 12, p; 61-84

LAVERIE M. (1969) - Le marché mondial du manganèse - Ecole des Mines, inédit.

LUCAS G. (1956) - Gisements et indices de manganèse - in "Symposium sobre Yacimientos de manganeso", 20th Cong. Géol. Intern. Mexico, tome 2, p. 123-130

RAGUIN E. (1956) - Sur les gisements de manganèse sédimentaires - in "Symposium sur les gîtes de manganèse" 20th Cong. Géol. Intern. Mexico, tome 1, p. 99-106

ROY S. (1968) - Mineralogy of the different genetic types of manganese deposits - Economic Geology, vol. 63, p. 760-786

ROY S. (1969) - Classification of Manganese deposits - Acta Mineral. Petrographia tome 19, fasc. 1

SOKOLOVA E.I. (1964) - Sedimentary iron and monganese ores - Israel Programme for Scientific translations, Jerusalem, p.1-220.

VARENTSON I.M. (1964) - Sedimentary manganese ores - Elsevier, edit. (trad. du russe), Amsterdam

WEBER F. (1969) - Une série précambrienne du Gabon : le Francevillien ; sédimentologie, géochimie, relations avec les gîtes minéraux associés - Doctorat es-Sciences Nat. Université Strasbourg, 2 vol., 367 p.

WISSINK A. (1972) - Les gisements de manganèse du monde , conditions de dépôt, typologie et métal contenu, Ecole des mines - Bull. B.R.G.M., Orléans, section II, n°1, p.33-48

3) LE MANGANESE AU MAROC

BEAUDOUIN B., LESAVRE A. et PELISSONNIER H. (1975) - Action des eaux superficielles dans le gisement de manganèse d'Imini (Maroc) - Bull. Soc. Géol. France, à paraître.

BOULADON J. et MEUNE M. (1951) - Le gisement de Tasdremt (Haut Sous) : un gîte sédimentaire de manganèse plombifère dans le Mésocrétacé transgressif - Notes Serv. Geol. Maroc, tome 4, p. 221-250

BOULADON J. et JOURAVSKY G. (1952) - Manganese - in "Géologie des gîtes minéraux marocains" - Notes et M. Serv. Geol. Maroc, no.87

BOULADON J. et JOURAVSKY G. (1955) - Les gisements de manganèse volcanogènes de Tiouine (Infracambrien du Sud Marocain) - Notes et M. Serv. Géol. Maroc, n° 127

BOULADON J. et JOURAVSKY G. (1956) - Les gîtes de manganèse du Maroc (suivi d'une description des gisements du Précambrien III) : 20th Int. Geol. Congr. Symposium on Manganese, vol.2, p. 217-248

DOLENC M. (1954) - Bericht über die Studienreise in "Les gisements marocains de manganèse" - Geol. Razprave in porocila - Ljubljana, 1954, Z. Knjiga, p. 273-294

DUBOIS J. (1934) - Observations relatives à la genèse du gisement de l'Imini - Arch. Serv. Mines Maroc - inédit.

GAUDEFROY C. (1960) - Caractères distinctifs de la pyrolusite-ex-manganite (Application au minerai de l'Imini) - Notes et M. Serv. Géol. Maroc, t.19, no. 149

JOURAVSKY G. et POUIT G. (1960) - Le gisement de l'Imini - Perspectives de recherche no. 663 S.E.G.M. Maroc

JOURAVSKY G. et POUIT G. (1960) - Zonalité de répartition du plomb, du fer, et du manganèse bivalent dans le gîte de manganèse de l'Imini (Sud Marocain) - Notes et M. Serv. géol. Maroc, no. 149, p. 69-75

JOURAVSKY G. et POUIT G. (1965) - Les minéralisations manganésifères de la région de Bou Arfa - Colloque sur les gisements stratiformes de plomb, zinc, et manganèse du Maroc - Notes et M. Serv. Géol. Maroc, no. 181, p.113-124

LESAVRE A. et PICOT P. (1975) - Sur la présence de lithiophorite monocristalline dans le gisement de manganèse d'Imini (Maroc) - Bull. Soc. Fr. Miner. Cristallogr. (à paraître).

NELTNER L. (1933) - Le manganèse dans les possessions françaises - in "Les Ressources minérales de la France d'Outre-mer", Paris, tome 2, p.81-144

ORCEL J. (1932) - Sur l'existence de la coronadite dans les minerais de manganèse de Bou Tazoult, région de l'Imini (Maroc). - C.R. Acad. Sci., tome 194, p. 1955-1958

ORCEL J. (1942) - La coronadite et le minerai qui la renferme dans les gîtes de manganèse de l'Imini, Sud marocain - Bull. Soc. Fr. Miner, t.65, p.73

PELISSONNIER H. (1968) - Remarques sur la genèse du gisement de l'Imini - Inédit.ENSMP

PERLY P. (1971) - Imini : premiers éléments de stratigraphie - Inédit. ENSMP.

PERLY P. (1971) - Rapport de fin de mission sur l'Imini - Inédit. ENSMP

PERLY P. (1971) - Vues nouvelles sur le gisement de l'Imini - Inédit. ENSMP

POUIT G. et JOURAVSKY G. (1960) - Présence de filons de manganèse d'âge post-triasique ou post-cénomanien dans la région de l'Imini (province de Ouarzazate, Sud Marocain) - Notes et M. Serv. Géol. Maroc, t. 19, p. 61-67

POUIT G. et JOURAVSKY G. (1965) - Les minéralisations manganésifères de Bou Arfa - colloque sur les gîtes stratiformes de plomb, zinc et manganèse du Maroc - Notes et M. Serv. Géol. Maroc, no.181, p.113-124

POUIT G. (1964) - Les gîtes de manganèse marocains encaissés dans les formations carbonatées : éléments pour une synthèse - chronique des mines et de la recherche minière p.1-23

TERMIER P. (1929) - Gisement de manganèse de l'Oued Imini - Arch. Serv. Mines,Maroc

VINCIENNE H. (1956) - Observations géologiques sur quelques gîtes marocains de manganèse syngénétique - in "Symposium sobre yacimientos de manganeso," XX Congrés géol. Intern. Mexico, t.II, p.249-272

ZVEREFF R. (1939) - Note sur le minerai de manganèse de l'Imini - Ann. Mines, Paris, p. 115-122.

4) AUTRES OUVRAGES CITES

CHOUBERT G. (1948) - Essai sur la paléogéographie du Mésocrétacé marocain - in "Livre jubil. Soc. Sc. nat. Maroc" p.307-329

CHOUBERT G. et FAVRE-MURET A. (1970) - Colloque international sur les corrélations du Précambrien : Livret guide - Notes et Mem. Serv. Géol. Maroc. N°229.

DESTOMBES J. (1963) - Le Cambrien et l'Ordovicien de la boutonnière de l'Imini (Zone sub-atlasique méridionale, Maroc) - C.R. Somm. Soc. Géol. Fr, 17 Juin, p. 231-232.

FREYTET P. (1964) - Le Vitrollien des Corbières orientales - Réflexions sur la sédimentation "lacustre" nord-pyrénéenne. Divagation fluviatile, Biorhexistasie, Pedogenèse - Revue géogr. phys. et géol. dynam. vol.VI, fasc.3 p. 179-201

VATAN A.(1967) - Manuel de Sédimentologie - Edit. Technip.

PLANCHES PHOTOS

Planche A : Pétrographie - Paléontologie

Photos 1 à 5 : Eléments détritiques de la série dolomitique cénomano-turonienne

1 - Pegmatite graphique (LP x 300)

2 - Quartz micropegmatitique (granophyre) (LP x 125)

3 - Quartz montrant des golfes où pénètre la fraction micro-cristalline de la roche d'origine (microgranite) (LP x 40)

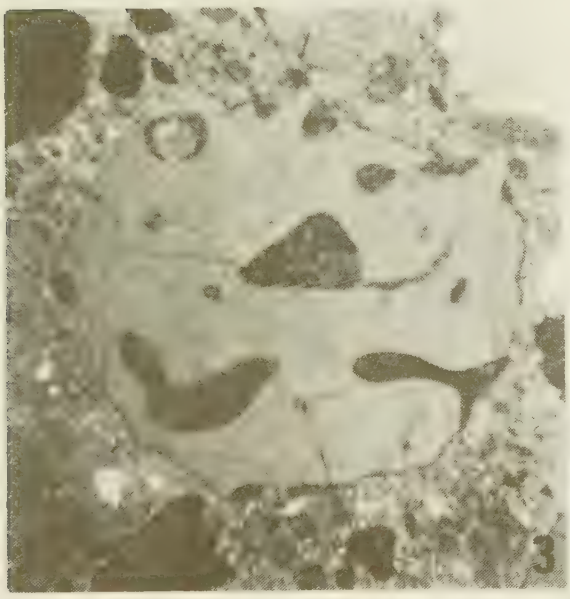
4 - Quartz à textures sphérolitiques (pyromérides) (LP x 40)

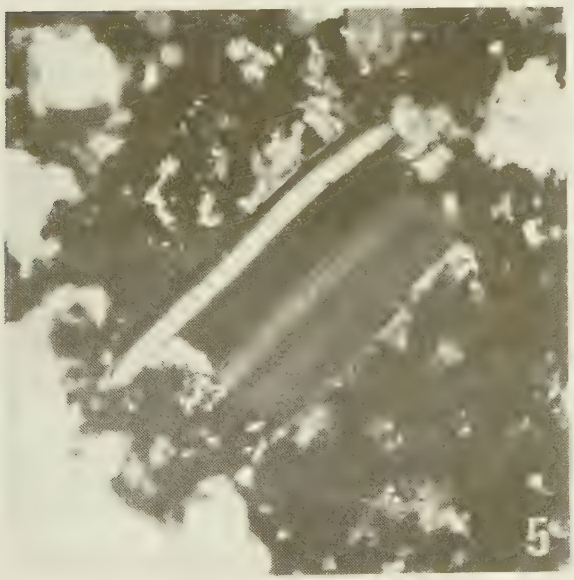
5 - Phosphate : débris d'os (LP x 125)

Photo 6 : Dentition de raie (banc de dolomie à silex de la coupe A - fig.1) ; les dimensions d'une dent sont de l'ordre de : 0,4 cm x 1 cm.

1

2


3


5

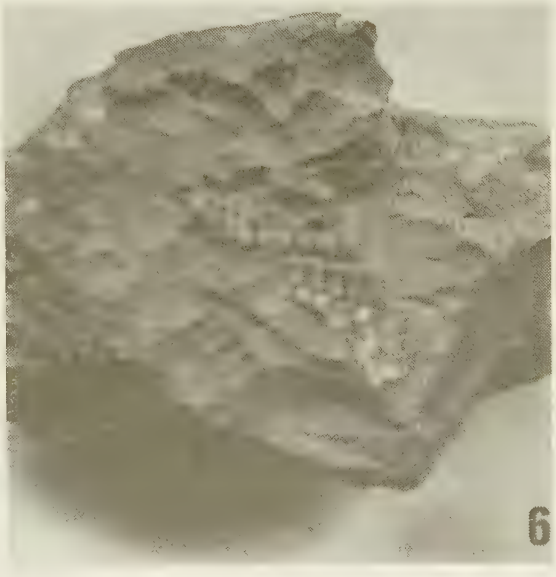

6

Planche B : Minéralogie

Photo 1 : Cristal zoné montrant l'association pyrolusite (blanche) - ramsdellite (grise) (LN x 150)

Photo 2 : Pyrolusite"en chevrons" dans un ciment carbonaté (LN x 60)

Photo 3 : Psilomélane litée montrant deux fissures à amprtissement rapide (x 1,5)

Photo 4 : Magnétite martitisée (LN x 150)

Photo 5 : Cristaux de lithiophorite dans de la psilomélane crypto-cristalline (LN x 200)

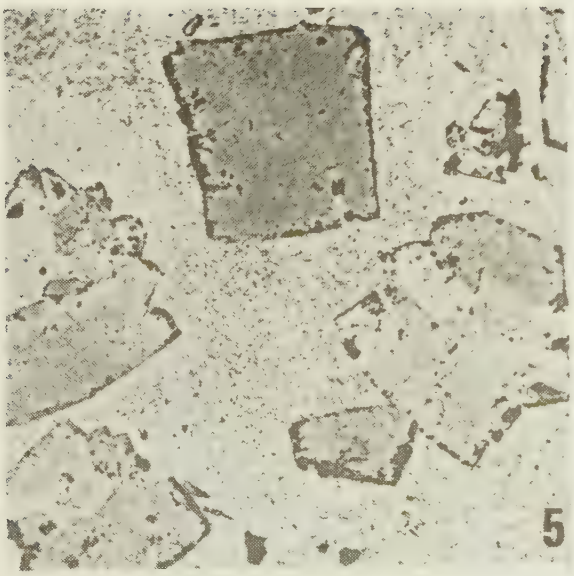
Photo 6 : Cristaux de lithiophorite le long d'une micro-fissure (LN x 200)

1

2

3

4


5

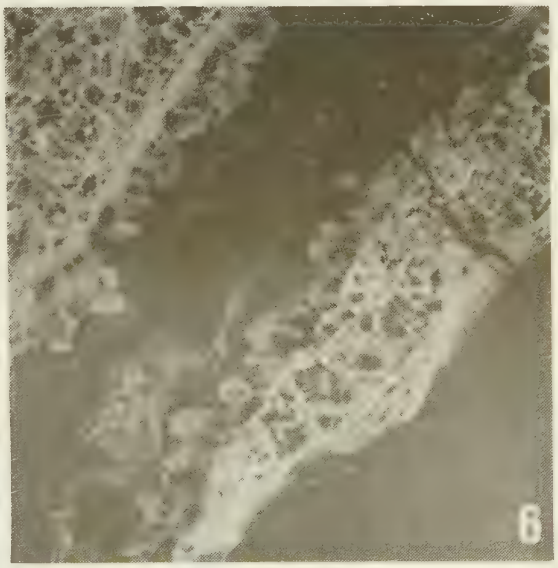

6

Planche C

Photos 1 à 4 : Relations entre les différents minéraux

1 - Pyrolusite cristallisant autour de morceaux de psilomélane

2 - Pyrolusite "mangeant" un morceau de psilomélane (diamètre de la section polie : 3,8 cm)

3 - Remplacement idiomorphe de carbonates par la psilomélane et présence de pyrolusite tardive (LN x 150)

4 - Remplacement idiomorphe de la pyrolusite par la goethite (LP x 150)

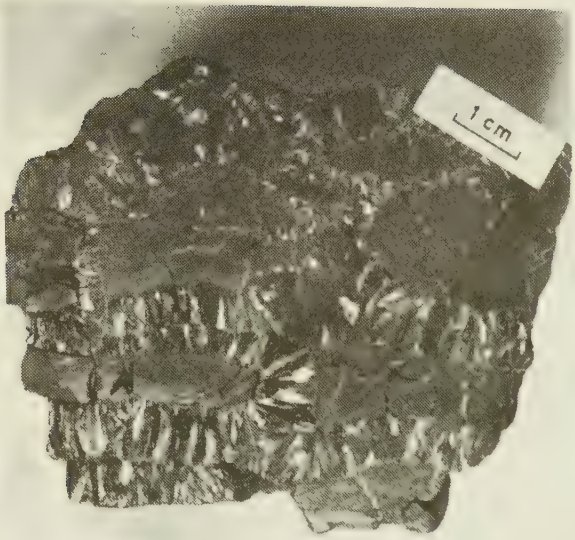
Photo 5 : Phénomènes d'altération (Timkit)

A - Entre-deux dolomitique altéré

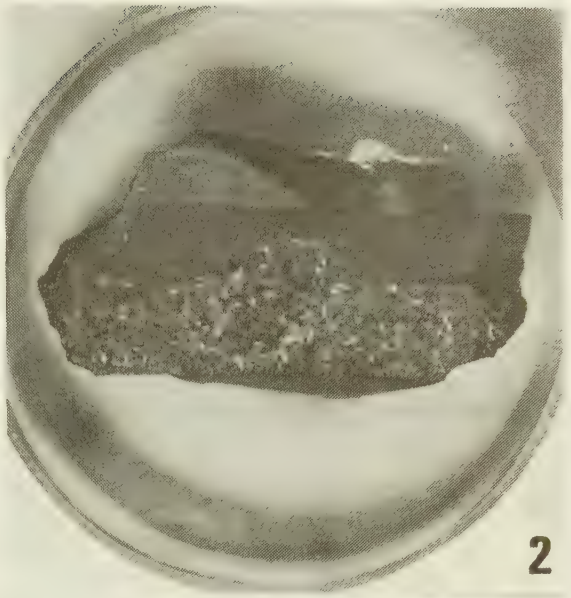
B - Argile claire avec nodules dolomitiques blancs

C - Sable brun

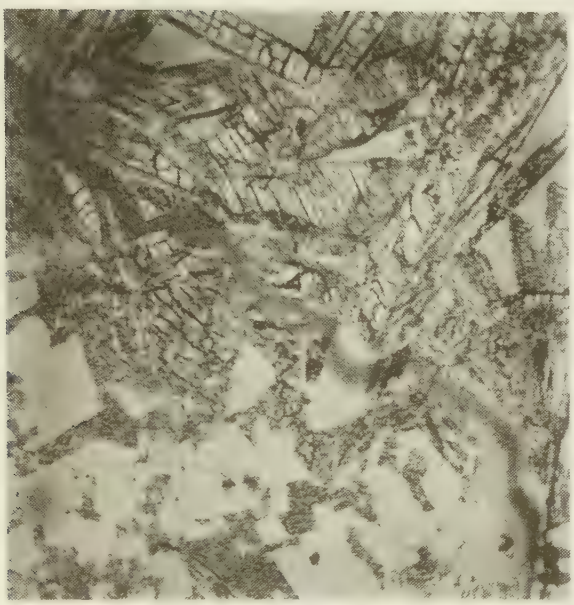
C2- Couche 2

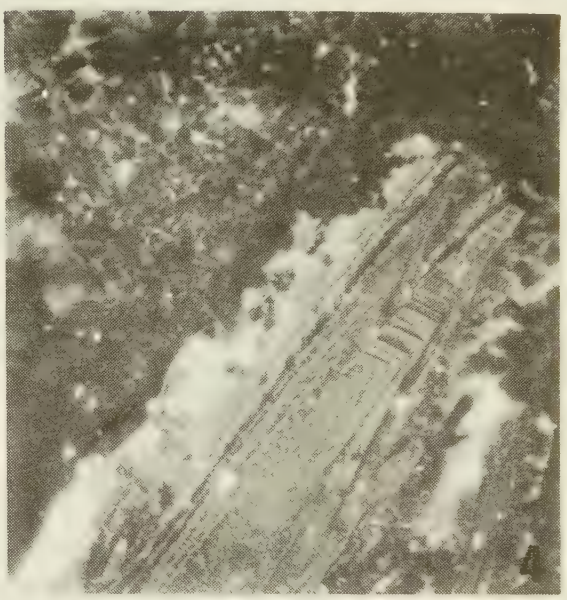


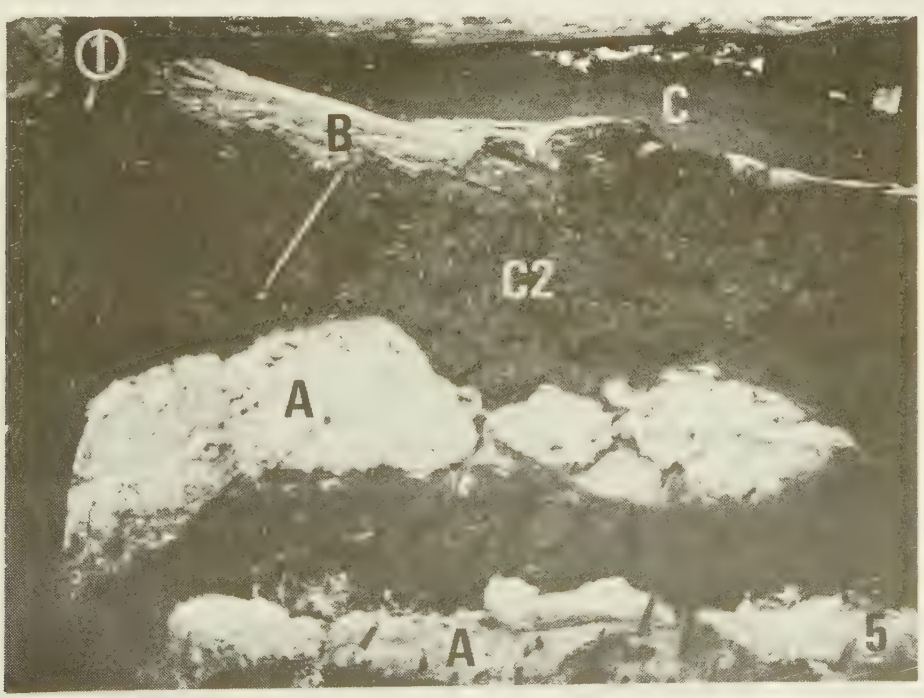
1



2







5

Planche D

Phénomènes d'altération (suite)

Photo 1 : Poche karstique au toit de la couche 2 (Timkit W)

A : Brèche à ciment gréseux rougeâtre et à éléments dolomitiques décimétriques.

B : Brèche à ciment argilo-dolomitique brun et à éléments dolomitiques blancs centimétriques.

C : Argile brune

D : Dolomie fossilifère

C2 : Couche 2

Photo 2 : Phénomène de bréchification de l'entre-deux dolomitique

A : Entre-deux couche 1 - Couche 2.

C2 : Couche 2

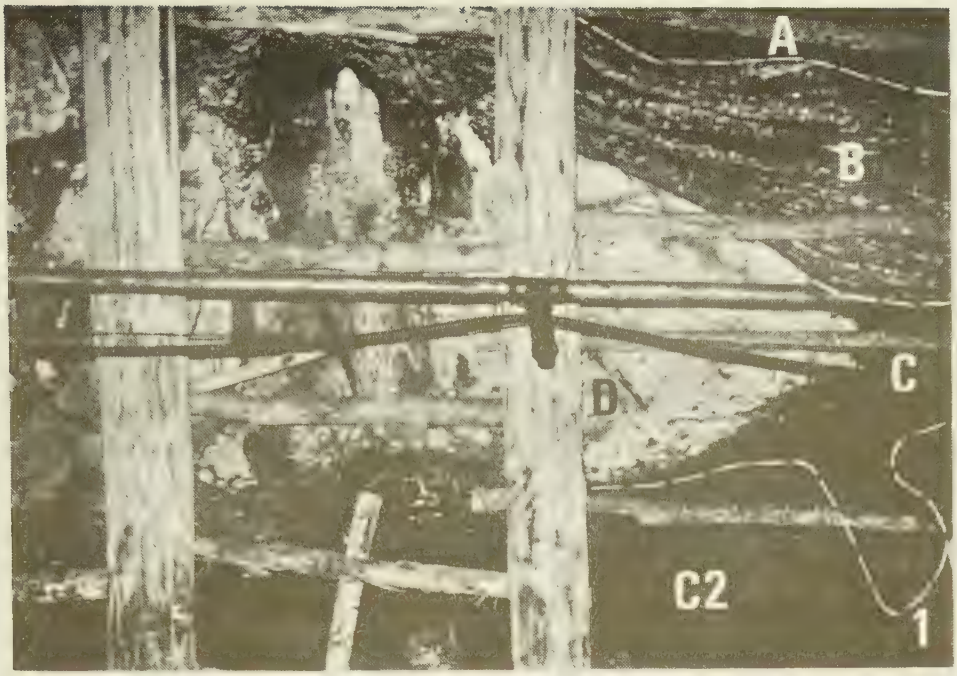
Photo 3 : Entre-deux gréseux rougeâtre résiduel, avec développement interne de pyrolusite

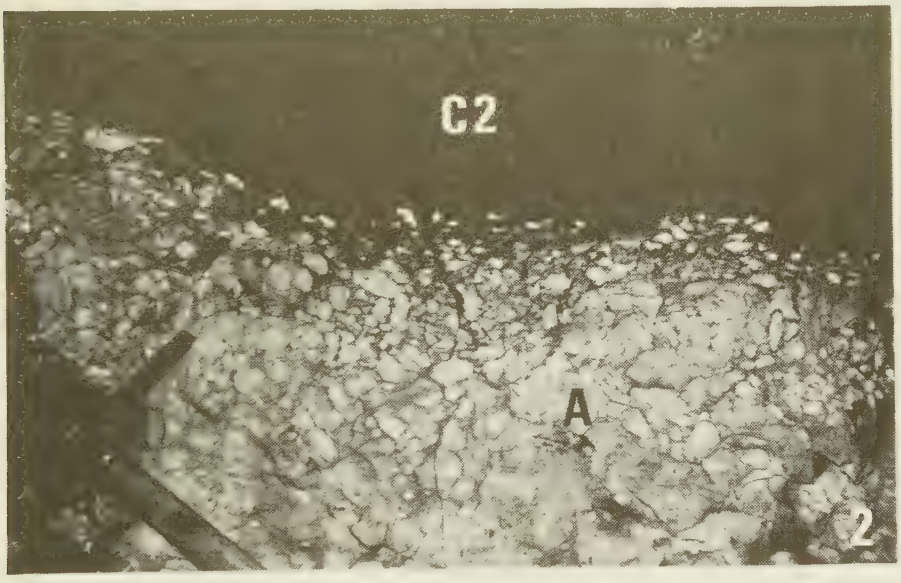
C2 : Couche 2

A : Entre-deux couche 1 - couche 2

C1 : Couche 1

L'échelle des trois photos est donnée par le marteau.


A
B
C
D
C2
1


C2
A
2

C2
A
A
C1
3

Planche E

Phénomènes d'altération (suite)

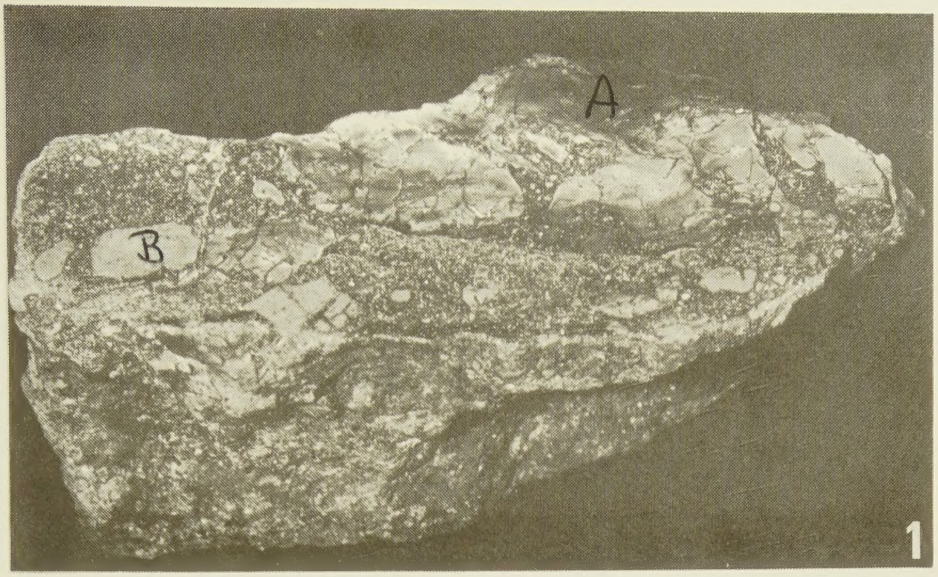
Photo 1 : Brèche équivalent latéral de la couche 2 sous la dolomie fossilifère (A) - Bou Agguioun ; taille de l'échantillon : 19 cm.

Le ciment est une dolomicrosparite gréseuse , de même nature que l'entre-deux couche 1-couche 2. Les nodules dolomitiques (B) sont des éléments de dolomie fossilifère.

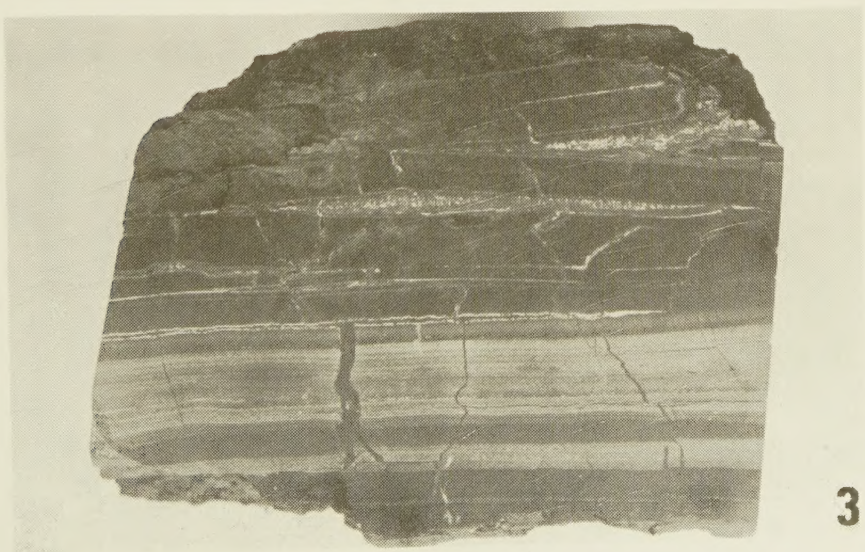
Photo 2 : Remplissage varvé argilo-dolomitique au toit d'une poche minéralisée (Lantenois) avec présence d'un galet de wad (A) ; taille de l'échantillon : 17,5 cm.

AGHBALOU

Photo 3 : Dolomie rubanée manganésifère (cryptomélane) du gisement d'Aghbalou ; taille de l'échantillon : 18 cm.


A
B
1

A
2


3